



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

---

## **TUGAS AKHIR - MN141581**

**Analisis Pengaruh Variasi Suhu *Preheat* terhadap Distorsi, Lebar HAZ, dan Struktur Mikro pada Sambungan *Butt Joint Single V* dengan Metode Pengelasan FCAW dan SMAW**

WINDU BASKORO HADI

NRP. 4110100079

Totok Yulianto, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015

---

**FINAL PROJECT - MN141581**

**Analysis of Variation *Preheat* Temperature to Distortion, Width of HAZ, and Microstructure in Butt Joint Single V using FCAW and SMAW Welding Methods**

WINDU BASKORO HADI

NRP. 4110100079

Totok Yulianto, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2015

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH VARIASI SUHU *PREHEAT* TERHADAP DISTORSI, LEBAR HAZ, DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN *BUTT JOINT* *SINGLE V* DENGAN METODE PENGELASAN FCAW DAN SMAW

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal

Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Windu Baskoro Hadi

NRP. 4110 100 079

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Totok Yulianto, S.T., M.T.



SURABAYA, 30 DESEMBER 2014



## LEMBAR REVISI

# ANALISIS PENGARUH VARIASI SUHU *PREHEAT* TERHADAP DISTORSI, LEBAR HAZ, DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN *BUTT JOINT* *SINGLE V* DENGAN METODE PENGELASAN FCAW DAN SMAW

## TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil Ujian Tugas Akhir

Tanggal 7 Januari 2015

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Windu Baskoro Hadi

NRP. 4110 100 079

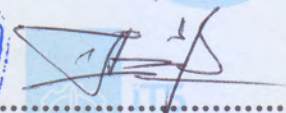
Disetujui oleh Dosen Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE, PED.
2. Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.
3. Dedi Budi Purwanto S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Totok Yulianto, S.T., M.T.



SURABAYA, 14 JANUARI 2015

# **Analisis Pengaruh Variasi Suhu *Preheat* terhadap Distorsi, Lebar HAZ, dan Struktur Mikro pada Sambungan Butt Joint Single V dengan Metode Pengelasan FCAW dan SMAW**

Nama Mahasiswa : Windu Baskoro Hadi  
NRP : 4110 100 079  
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Totok Yulianto, ST. MT.

## **ABSTRAK**

Pada sambungan las butt joint single V dengan tebal >20 mm menggunakan SMAW maupun FCAW diwajibkan dilakukan *preheat*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh *preheat* terhadap distorsi, lebar HAZ, dan struktur mikro. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan pengelasan dengan variasi *preheat* 50°C, 100°C, 150°C, 200°C dan tanpa *preheat*. Hasil dari pengukuran distorsi didapat semakin besar temperatur *preheat* maka semakin kecil distorsi yang terjadi. Hasil dari pengukuran HAZ semakin tinggi temperatur *preheat* HAZ semakin lebar. Dari hasil pengamatan dan pengukuran struktur mikro didapat hasil terbaik pengelasan SMAW pada HAZ adalah pada saat *preheat* 150°C dengan persebaran *cementite* 39.91% sedangkan pada weld metal saat *preheat* 200°C dengan persebaran *cementite* 32.04%. Hasil terbaik pengelasan FCAW pada HAZ dan weld metal adalah pada saat *preheat* 200°C dengan persebaran *cementite* 36.65% pada HAZ dan 29.88% pada weld metal. Dari ketiga parameter dapat ditarik kesimpulan hasil paling optimum untuk pengelasan SMAW adalah dengan melakukan *preheat* sebesar 150°C. Sedangkan untuk pengelasan FCAW dengan melakukan *preheat* sebesar 200°C.

Kata kunci : *preheat*, distorsi, lebar HAZ, struktur mikro

# ***Analysis of Variation Preheat Temperature to Distortion, Width of HAZ, and Microstructure in Butt Joint Single V using FCAW and SMAW Welding Methods***

*Author* : Windu Baskoro Hadi  
*ID No.* : 4110 100 079  
*Dept. / Faculty* : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology  
*Supervisors* : Totok Yulianto, ST. MT.

## ***ABSTRACT***

*In a single V butt joint thickness > 20 mm welded with SMAW and FCAW is mandatory preheat. This study aimed to analyze the effect of preheat to distortion, wide of HAZ, and microstructure. The method used in this study is variation of preheat 50°C, 100°C, 150°C, 200°C and without preheat. The results of the measurements obtained the greater distortion of preheat temperature, the smaller distortion occurs. Results of measurements wide of HAZ higher preheat temperatures, the HAZ is widening. From the observation and measurement of microstructure obtained the best results at HAZ of SMAW welding when preheat 150°C with cementite distribution 39.91 % and the weld metal when preheat 200°C with cementite distribution 32.04%. The best results of FCAW at HAZ and weld metal when preheat 200°C with cementite distribution 36.65 % in the HAZ and 29.88 % in weld metal. From the three parameters can be deduced the most optimum results for SMAW at preheat 150°C and for FCAW at preheat 200°C.*

*Keywords : preheat, distorsion, width of HAZ, microstructure*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Variasi Suhu *Preheat* terhadap Distorsi, Lebar HAZ, dan Struktur Mikro pada Sambungan Butt Joint Single V dengan Metode Pengelasan FCAW dan SMAW**” dengan baik. Tidak lupa shalawat dan salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju alam yang penuh ilmu pengetahuan.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini tentunya tidak terlepas dari kerjasama dan dukungan berbagai pihak, baik secara langsung ataupun tidak. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Ibu dan Bapak tercinta yang telah memberikan dukungan doa, moril, dan materil selama menjalani perkuliahan dari awal sampai lulus. Tanpa Ibu dan Bapak penulis tidak akan bisa seperti sekarang ini.
2. Bapak Totok Yulianto, ST. MT. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan ilmu untuk membimbing penulis serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan tugas akhir.
3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.SC., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE, PED., Septia Hardi Pujiatanti, S.T., M.T., Dedi Budi Purwanto S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas akhir.
5. Bapak Heri Santoso selaku direktur produksi PT. Dok dan Perkapalan Surabaya yang telah mengizinkan pengerjaan Tugas Akhir di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya. Bapak Rochim dan Bapak Wisnu untuk bantuan pengelasan material Tugas Akhir.
6. Mas Agil, Bapak Didik, Bapak Fairil, Bapak Soenariyo (Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan) yang telah membantu pembuatan material uji dan pengujiannya.
7. M. Zaki Alami yang telah membantu pengadaan material untuk Tugas Akhir.
8. Elok Tri Swiarizona yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

Saya berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi dunia perkapalan. Kritik dan saran sangat saya harapkan.

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR REVISI .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERUNTUKAN.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Hipotesis .....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	3
2.1 Tinjauan Pustaka.....	3
2.2 Landasan Teori .....	4
A. Metalurgi Pengelasan .....	5
B. Parameter Pengelasan .....	6
C. <i>Heat Input</i> .....	8
D. Flux Cored Arc Welding (FCAW).....	9
E. Shielded Metal Arc <i>Welding</i> (SMAW).....	11
F. Heat Affected Zone (HAZ) .....	13
G. Definisi <i>preheat</i> .....	13



H.	Fungsi <i>preheat</i> .....	14
I.	Distorsi .....	15
J.	ASTM A36 .....	16
K.	Struktur Mikro .....	17
BAB III .....		23
METODOLOGI .....		23
3.1	Identifikasi Masalah .....	23
3.2	Pengadaan material .....	24
3.3	Pembuatan Spesimen .....	24
3.4	Pengelasan Material .....	24
3.5	Pemotongan Material .....	26
3.6	Tahap Pengumpulan Data Pertama (Nilai Distorsi) .....	26
3.7	Pemotongan Material .....	27
3.8	Makro etsa .....	27
3.9	Tahap Pengumpulan Data Kedua (lebar dan luas HAZ) .....	28
3.10	Mikro Etsa .....	28
3.11	Tahap Pengumpulan Data Ketiga .....	28
BAB IV .....		29
HASIL DAN PEMBAHASAN .....		29
4.1	Distorsi <i>Angular</i> .....	29
4.2	Pengujian Makro .....	44
4.3	Struktur Mikro .....	61
4.4	Pengaruh <i>Preheat</i> pada Pengelasan Butt Joint .....	76
BAB V .....		79
KESIMPULAN DAN SARAN .....		79
5.1	Kesimpulan .....	79
5.2	Saran .....	80
DAFTAR PUSTAKA .....		81
LAMPIRAN A FOTO PENGELASAN DAN PENGUJIAN		
LAMPIRAN B PENGUKURAN LUAS CEMENTITE		

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik A36 .....	16
Tabel 2 Variasi temperatur <i>preheat</i> .....	24
Tabel 3 Parameter Pengelasan .....	25
Tabel 4 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW Tanpa <i>preheat</i> .....	30
Tabel 5 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 50° C .....	32
Tabel 6 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 100° C .....	33
Tabel 7 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 150° C .....	34
Tabel 8 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 200° C .....	36
Tabel 9 rekapitulasi distorsi pengelasan FCAW tanpa <i>preheat</i> .....	37
Tabel 10 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 50° C .....	38
Tabel 11 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 100° C .....	40
Tabel 12 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 150°C .....	41
Tabel 13 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 200° C .....	42
Tabel 14 Rekapitulasi Distorsi pada SMAW dan FCAW .....	42
Tabel 15 Selisih distorsi antar temperatur <i>preheat</i> .....	44
Tabel 16 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW tanpa <i>preheat</i> .....	45
Tabel 17 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW tanpa <i>preheat</i> .....	46
Tabel 18 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW <i>preheat</i> 50° C .....	47
Tabel 19 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW <i>preheat</i> 50° C .....	47
Tabel 20 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW <i>preheat</i> 100° C .....	48
Tabel 21 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW <i>preheat</i> 100° C .....	49
Tabel 22 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW <i>preheat</i> 150° C .....	50
Tabel 23 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW <i>preheat</i> 150° C .....	50
Tabel 24 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW <i>preheat</i> 200° C .....	51
Tabel 25 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW <i>preheat</i> 200° C .....	51
Tabel 26 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW tanpa <i>preheat</i> .....	53
Tabel 27 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan FCAW tanpa <i>preheat</i> .....	53
Tabel 28 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW <i>preheat</i> 50° C .....	54
Tabel 29 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan FCAW <i>preheat</i> 50° C .....	55
Tabel 30 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW <i>preheat</i> 100° C .....	56
Tabel 31 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan FCAW <i>preheat</i> 100° C .....	56
Tabel 32 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW <i>preheat</i> 150° C .....	58
Tabel 33 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan FCAW <i>preheat</i> 150° C .....	58
Tabel 34 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW <i>preheat</i> 200° C .....	60
Tabel 35 Rekapitulasi luas HAZ pada pengelasan FCAW <i>preheat</i> 200° C .....	60
Tabel 36 Rekapitulasi lebar dan luas HAZ .....	60
Tabel 37 Selisih luas dan lebar antara temperatur <i>preheat</i> dan jenis pengelasan .....	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbedaan Self-Shielded dengan Gas Shielded .....	10
Gambar 2. 2 Hubungan Volt-Ampere pada Constan Voltage Power Source .....	11
Gambar 2. 3 Shielded Metal Arc <i>Welding</i> (SMAW) .....	11
Gambar 2. 4 <i>Straight Polarity</i> (DCSP), <i>Electrode</i> Negative (DCEN) .....	12
Gambar 2. 5 <i>Reverse Polarity</i> (DCRP), <i>Electrode</i> Positive (DCEP) .....	12
Gambar 2. 6 <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ) .....	13
Gambar 2. 7 Macam – macam distorsi .....	16
Gambar 2. 8 Iron Phase Diagram .....	17
Gambar 2. 9 <i>Ferrite</i> .....	18
Gambar 2. 10 <i>Pearlite</i> .....	19
Gambar 2. 11 <i>Bainite</i> .....	19
Gambar 2. 12 <i>Martensite</i> .....	21
Gambar 2. 13 <i>Cementite</i> .....	21
Gambar 2. 14 Pemotongan material .....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan .....	23
Gambar 3. 2 Material dengan Single V-groove .....	24
Gambar 3. 3 Base metal setelah di <i>tack weld</i> (a), <i>preheating</i> material (b) .....	25
Gambar 3. 4 Proses pengelasan (a), Proses backgouging (b) .....	26
Gambar 3. 5 Material setelah backgouging .....	26
Gambar 3.6 Desain Potongan material .....	26
Gambar 3.7 Proses Pemotongan Material Sesuai Desain .....	26
Gambar 3. 8 Pengukuran Distorsi .....	27
Gambar 3. 9 Mesin poles (a) spesimen setelah dilakukan makro etsa (b) .....	28
Gambar 3. 10 Lebar dan luas HAZ .....	28
Gambar 4.1.1 Distorsi pengelasan SMAW tanpa <i>preheat</i> .....	30
Gambar 4.1. 2 Distorsi pengelasan SMAW <i>preheat</i> 50° C .....	31
Gambar 4.1. 3 Distorsi pengelasan SMAW <i>preheat</i> 100° C .....	33
Gambar 4.1. 4 Distorsi Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 150° C .....	34
Gambar 4.1. 5 Distorsi Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 200° C .....	35
Gambar 4.1.6 Distorsi Pengelasan FCAW tanpa <i>preheat</i> .....	37
Gambar 4.1.7 Distorsi Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 50° C .....	38
Gambar 4.1. 8 Distorsi Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 100° C .....	39
Gambar 4.1. 9 Distorsi Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 150° C .....	41
Gambar 4.1. 10 Distorsi Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 200° C .....	42
Gambar 4.1.11 Grafik korelasi antara <i>preheat</i> dan distorsi .....	43
Gambar 4.2. 1 Foto Makro Pengelasan SMAW tanpa <i>preheat</i> .....	45
Gambar 4.2. 2 Foto Makro Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 50° C .....	46
Gambar 4.2. 3 Foto Makro Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 100° C .....	48
Gambar 4.2. 4 Foto Makro Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 150° C .....	49
Gambar 4.2. 5 Foto Makro Pengelasan SMAW <i>preheat</i> 200° C .....	51
Gambar 4.2. 6 Foto Makro Pengelasan FCAW tanpa <i>preheat</i> .....	52
Gambar 4.2. 7 Foto Makro Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 50° C .....	54

Gambar 4.2. 8 Foto Makro Pengelasan FCAW 100° C .....	56
Gambar 4.2. 9 Foto Makro Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 150° C .....	57
Gambar 4.2. 10 Foto Makro Pengelasan FCAW <i>preheat</i> 200° C .....	59
Gambar 4.2. 11 Grafik hubungan lebar dan luas HAZ terhadap temperatur <i>preheat</i> .....	61



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pada mulanya pemakaian pengelasan hanya berfungsi sebagai perbaikan dan pemeliharaan dari alat- alat yang terbuat dari logam baik sebagai proses penambalan retak–retak, penyambungan sementara, atau sebagai alat pemotongan bagian–bagian yang dibuang atau diperbaiki. Kemajuan teknologi yang semakin pesat, demikian pula yang terjadi di Indonesia sangat membutuhkan teknik pengelasan yang baik. Perkembangan teknologi ini dapat dilihat dengan semakin kompleksnya proses penyambungan logam dengan pengelasan. Pada proses pengelasan ada beberapa faktor yang menentukan keberhasilan dalam pengelasan, dimana perubahan logam yang disambung diharapkan mengalami perubahan sekecil mungkin sehingga mutu las dapat dijamin.

Pada pengelasan terdapat beberapa macam perlakuan panas pada sebelum ataupun setelah material dilas. Material terutama carbon steel akan mengalami perubahan struktur dan grain karena effect dari kecepatan pendinginan. Perlakuan panas yang dimaksud adalah *preheat* dan PWHT ( Pos Welt Heat Treatment). *preheat* adalah bagian dari proses heat treatment sebelum dilakukan pengelasan yang bertujuan untuk mengurangi kelembaban dari area pengelasan dan untuk menurunkan gradient temperatur sehingga meminimalkan masalah yang terjadi seperti distorsi dan tegangan sisa yang berlebih.

Dalam setiap pengelasan akan timbul efek negatif seperti distorsi, perubahan struktur pada *Heat Affected Zone*, dan terjadinya cacat pengelasan. Efek negatif dari pengelasan tersebut bisa diminimalisir dengan cara tertentu seperti *preheat*, postheat, PWHT dan lain sebagainya. Setiap efek negatif yang timbul akibat pengelasan ditetapkan batas maksimumnya dan bagaimana cara mengatasinya.

Pada sambungan las pelat kapal menggunakan SMAW (Shielded Metal Arc *Welding*) maupun FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) dengan butt joint single V akan terjadi distorsi pada logam las, timbulnya HAZ, timbul tegangan sisa pada sambungan las, dan perubahan struktur mikro pada HAZ ataupun *weld metal*. Dalam pengelasan material dengan ketebalan >19mm (AWS D1.1 D1.1M-2010 table 3.2) maka diwajibkan dilakukan *preheat* dengan suhu minimum tertentu. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir terjadinya distorsi, tegangan pada sambungan las, dan perubahan struktur pada HAZ.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh temperatur *preheat* terhadap pengurangan distorsi pada sambungan butt joint?
2. Bagaimana pengaruh temperatur *preheat* terhadap struktur mikro di weld metal?
3. Bagaimana dampak temperatur *preheat* terhadap lebar *Heat Affected Zone*?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Material yang digunakan adalah ASTM A36 tebal 20 mm
2. Menggunakan pengelasan SMAW dan FCAW
3. Menggunakan *electrode* E6013 untuk pengelasan SMAW
4. Menggunakan elektrode E71T-1 untuk pengelasan FCAW

## 1.4 Tujuan

1. Mendapatkan grafik hubungan temperatur dengan distorsi pada sambungan butt joint menggunakan pengelasan SMAW dan FCAW.
2. Mengetahui perubahan struktur mikro pada setiap temperatur *preheat*
3. Mengetahui hubungan besar temperatur *preheat* dengan lebar HAZ

## 1.5 Manfaat

Sebagai pertimbangan pemilihan temperatur *preheat* pada sambungan butt joint single V agar mendapatkan hasil yang maksimal dari segi distorsi, struktur mikro, dan lebar HAZ.

## 1.6 Hipotesis

Semakin tinggi suhu *preheat* maka distorsi akan semakin kecil sedangkan pada HAZ semakin tinggi HAZ maka HAZ akan semakin lebar tetapi memiliki struktur mikro yg lebih baik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

C.M.Cheng, C.P.Chouy, I.K.Lee dan H.Y.Lin dari Department of Mechanical Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan, China melakukan suatu percobaan tentang pengaruh perlakuan panas pada pengelasan *Aluminum Alloys* terhadap distorsinya. Percobaan ini berupa pengelasan single V-groove butt joint material aluminium 2024-T351, 6061-T6 and 7075-T6 dengan variasi vee *preparation angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  dengan atau tanpa *restraint*. Dalam percobaan ini menggunakan metode pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Percobaan ini bertujuan untuk membandingkan *angular distortion* yang terjadi akibat pengelasan yang dilakukan. Material dengan *preparation angle*  $0^\circ$  (I-Shaped groove) yang dilas menggunakan *restraint* mengalami *angular distortion* yang lebih besar daripada material yang tanpa *restraint*. Sedangkan pada *preparation angle*  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $90^\circ$  pengelasan dengan *restraint* mengalami *angular distortion* yang lebih kecil daripada pengelasan tanpa *restraint*. *Preparation angle* berpengaruh terhadap besarnya *angular distortion* yang terjadi setelah pengelasan hal ini dikarenakan jumlah dari filler metal pada lasan. Pada pengelasan tanpa *restraint* semakin besar *preparation angle* maka *angular distortion* juga akan semakin besar akan tetapi distorsi *angular* berkurang ketika *preparation angle*  $60^\circ$ . Selain itu pengelasan dengan *restraint* mengalami *angular distortion* yang tinggi ketika *preparation angle*  $0^\circ$ . *Angular distortion* cenderung berkurang dengan bertambahnya *Preparation angle*. *angular distortion* bernilai kecil saat sudut  $60^\circ$  dan bertambah besar jika pa lebih dari  $60^\circ$ . Dalam setiap *preparation angle* tanpa memperhatikan *restraint* high-temperature yield strength dari material juga berpengaruh terhadap *angular distortion*, semakin besar high-temperature yield strength maka distorsi juga akan semakin besar.

Dhanur Rananggono melakukan penelitian tentang pengeruh *preheat* dan postheat terhadap kekuatan mekanik dan struktur mikro dengan pengelasan SMAW. Material yang digunakan adalah ASTM A36 tebal 10 mm dengan single V groove dengan sudut  $30^\circ$  dan root face 1 mm. Pengelasan dilakukan dengan posisi 1G dengan memvariasikan perlakuan panas berupa *preheating*, postheating dengan quenching, postheating dengan annealing serta kombinasi antara *preheating* dan postheating. Suhu preheating yang digunakan  $100^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$ , dan  $250^\circ\text{C}$ . Sedangkan untuk postheat menggunakan suhu  $800^\circ\text{C}$  dengan holding time 250 menit. Melalui pengujian Tarik dan hardness diketahui hasil pengelasan dengan

perlakuan panas berupa *preheat* dan *quenching* serta kombinasinya dengan *preheating* memberikan kenaikan tertinggi pada kekuatan Tarik rata-rata berturut-turut sebesar 11.61% serta 9.47%. sedangkan perlakuan panas berupa postheat dan annealing serta kombinasinya dengan *preheating* memberikan penurunan terbesar pada kekuatan Tarik rata-rata dan indeks kekerasan rata-rata berturut-turut sebesar 13.02% dan 19.35%. pada pengelasan yang dikenai quenching butirannya halus sehingga kekuatan tarik dan kekerasannya meningkat. Pada hasil las ini struktur mikronya didominasi oleh *pearlite* sehingga hasil las menjadi getas. Pada hasil las dengan perlakuan annealing butirannya berukuran relative besar sehingga kekuatan tarik dan kekerasannya menurun. Pada hasil las ini struktur mikro didominasi oleh ferrit sehingga hasil lasnya mengalami peningkatan keuletan. Pada hasil penegelasan dengan perlakuan panas berupa *preheat* material hasil las menunjukkan penurunan kekuatan Tarik dan indeks kekerasan tapi tidak signifikan hanya 3% untuk kekerasan dan 1.33% untuk kekuatan tarik. Struktur mikro dari material yang mengalami *preheat* juga tidak mengalami perubahan yang signifikan dengan presentase ferrit-perlit berturut-turut 53.42% dan 46.57% dan ukuran butir 9.030.

B. N. Sathyanarayana Reddy dan N. Lakshmana Swamy dalam research yang dipublikasikan di International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST) tentang pengaruh groove angle terhadap *Transverse Shrinkage* pada pengelasan semi otomatis. Percobaan dilakukan untuk mengetahui distorsi yang terjadi dengan variasi diameter elektroda, groove angle dan root opening. Percobaan ini menggunakan gas CO<sub>2</sub> sebagai gas pelindungnya dan menggunakan single V groove dan double V groove. Material yang digunakan adalah mild steel dengan ukuran 250mm x 250mm x 8mm dengan root opening 1 mm dan 2 mm. Dalam pengelasannya menggunakan input 100 Amp, 22V voltage, feed rate-nya 6m/min dan menggunakan elektroda 0.8 mm dan 1.2 mm. Dari percobaan yang dilakukan didapatkan hasil bahwa semakin besar groove angle pada groove single V maka semakin besar pula distorsi yang akan terjadi untuk kedua elektroda 0.8 mm dan 1.2 mm. Hal yang sama juga terjadi pada double V groove.

## **2.2 Landasan Teori**

Pengelasan adalah proses penyambungan logam menggunakan tekanan, panas, atau busur listrik. Pada proses pengelasan, logam pengisi (*filler metal*) dan benda kerja dipanaskan dengan busur listrik atau gas sehingga mencair dan membeku bersama. Penyambungan pada proses las ada beberapa tahap yaitu root, filler, dan capping/cover. Pengertian pengelasan menurut Widharto (2003) adalah salah satu cara untuk menyambung



benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Wiryosumarto dan Okumura (2004) menyebutkan bahwa pengelasan adalah penyambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

#### **A. Metalurgi Pengelasan**

Dalam Pengelasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam Pengelasan, daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam Pengelasan adalah bagian dari logam yang ada pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tidak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las.

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segregasi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Pada proses pembekuan logam las terjadi tiga proses reaksi metalurgi, proses tersebut adalah:

##### **1. Pemisahan**

Di dalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang dan pemisahan mikro. Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis sumbu las, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

##### **2. Vaporasi**

Lubang-lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Lubang-lubang tersebut disebabkan karena tiga macam cara pembentukan gas sebagai berikut: yang pertama adalah pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, yang kedua adalah terbentuknya gas karena

adanya reaksi kimia didalam logam las dan yang ketiga penyusupan gas kedalam atmosfer busur.

Gas yang terbentuk karena perbedaan batas kelarutan dalam baja adalah gas hidrogen dan gas nitrogen, sedangkan yang terjadi karena reaksi adalah terbentuknya gas CO dalam logam cair dan yang menyusup adalah gas-gas pelindung atau udara yang terkurung dalam akar kampuh las.

### **3. Oksidasi**

Oksidasi menghasilkan gas-gas atau oksidasi-oksidasi yang mengakibatkan mutu las menjadi rendah, misal karena mudah timbul korosi, menyebabkan adanya rongga-rongga dalam logam las kegetasan bahan bertambah atau berkurangnya kekuatan logam las.

Sebenarnya hanya sejumlah kecil oksigen yang larut dalam baja, tetapi karena tekanan disosiasi dari kebanyakan oksida sangat rendah, maka pada umumnya akan terbentuk oksida-oksida yang stabil. Karena pengukuran yang tepat untuk mengetahui jumlah oksigen yang larut dalam baja sangat sukar, maka untuk melepaskan oksigen dari larutan biasanya dilakukan usaha-usaha seperti melepaskan oksida. Proses menghilangkan oksida ini disebut proses deoksidasi.

Ketangguhan logam las turun dengan naiknya kadar oksigen, oleh karena itu harus selalu diusahakan agar logam las mempunyai kadar oksigen yang serendah-rendahnya. Usaha penurunan oksigen ini dapat dilakukan dengan menambah unsur-unsur yang bersifat deoksidasi seperti Si, Mn, Al dan Ti atau menaikkan kebasaan dari terak lasnya. Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya, yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan.

## **B. Parameter Pengelasan**

### **1. Tegangan busur las**

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dari jenis dari elektroda yang digunakan. Pada elektroda yang sejenis tingginya tegangan busur yang diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur. Pada dasarnya busur listrik yang terlalu panjang tidak dikehendaki karena stabilitasnya mudah terganggu sehingga tegangan yang terlalu tinggi hanya akan membuang-buang energi saja. Panjang busur yang dianggap baik kira-kira sama dengan garis tengah elektroda. Tegangan yang diperlukan untuk mengelas

dengan elektroda bergaris tengah 3 sampai 6 mm, kira-kira antara 20 sampai 30 volt untuk posisi datar. Sedangkan untuk posisi tegak atau atas kepala biasanya dikurangi lagi dengan 2 sampai 5 volt. Kestabilan busur dapat juga didengar dari kestabilan suaranya selama pengelasan. Untuk mereka yang telah berpengalaman kesempatan panjang busurpun dapat diduga atau diperkirakan dari suara pengelasan. Sehubungan dengan panjang busur, hal yang paling sukar dalam las busur listrik dengan tangan adalah mempertahankan panjang busur yang tetap.

## **2. Besar ampere las**

Besarnya ampere las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan macam elektroda dan diameter ini elektroda. Dalam hal daerah las mempunyai kapasitas panas yang tinggi maka dengan sendirinya diperlukan ampere las besar dan mungkin juga diperlukan pemanasan tambahan. Dalam pengelasan logam paduan, untuk menghindari terbakarnya unsur-unsur paduan sebaiknya menggunakan ampere las yang kecil.

## **3. Kecepatan pengelasan**

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan dari lain-lainnya. Dalam hal hubungannya dengan tegangan dari ampere las, dapat dikatakan bahwa kecepatan las hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan ampere las. Karena itu pengelasan yang cepat memerlukan ampere las yang tinggi.

Bila tegangan dari ampere dibuat tetap, sedang kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit per satuan panjang las jadi menurun. Tetapi disamping itu sampai pada suatu kecepatan tertentu, kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas per satuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin dapat memperkeras daerah HAZ.

## **4. Polaritas Listrik**

Seperti telah diterangkan sebelumnya bahwa pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas balik. Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan lain sebagainya.

Bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas panasnya besar sebaiknya digunakan polaritas lurus dimana elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif. Sebaliknya bila kapasitas panasnya kecil seperti pada pelat tipis maka dianjurkan untuk menggunakan polaritasbalik dimana elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Untuk menurunkan penembusan, misalnya dalam pengelasan baja tahan karat austenit atau pada pengelasan pelapisan keras, sebaliknya elektroda dihubungkan dengan kutub positif.

Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dari pada arus bolak balik, terutama pada pengelasan dengan arus yang rendah. Tetapi untuk pengelasan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak balik karena pada arus searah sering terjadi ledakan busur pada akhir dari pengelasan.

### **5. Besarnya penembusan**

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Sedangkan besarnya penembusan tergantung kepada sifat-sifat fluks, polaritas, besarnya arus, kecepatan las dari tegangan yang digunakan. Pada dasarnya makin besar arus las makin besar pula daya tembusnya. Sedangkan tegangan memberikan pengaruh yang sebaliknya yaitu makin besar tegangan makin panjang busur yang terjadi dan makin dangkal. Dalam hal tegangan ada pengecualian terhadap beberapa elektroda khusus untuk penembusan dalam yang memang memerlukan tegangan tinggi. Pengaruh kecepatan seperti diterangkan sebelumnya bahwa sampai pada suatu kecepatan tertentu naiknya kecepatan akan memperdalam penembusan, tetapi melampaui kecepatan tersebut penembusan akan turun dengan naiknya kecepatan.

### **6. Kondisi standar pengelasan**

Beberapa kondisi standar dalam pengelasan dengan syarat-syarat tertentu seperti tebal pelat, bentuk sambungan, jenis elektroda, diameter inti elektroda dan lain sebagainya, telah ada. Sudah tentu bahwa kondisi standar ini harus dilaksanakan secara seksama dari sesuai dengan bentuk dan ketelitian alur, keadaan tempat pengelasan dan lain-lainnya.

### ***C. Heat Input***

*Heat input* adalah nilai dari energi yang ditransfer per unit panjang dari suatu pengelasan. *Heat input* merupakan parameter penting karena seperti halnya pemanasan awal dan temperatur *interpass*, *heat input* juga mempengaruhi laju pendinginan yang akan berpengaruh pada mechanical properties dan struktur metalurgi dari HAZ. Hubungan ini ditunjukkan dalam gambar 2.5



Salah satu parameter yang penting dalam proses pengelasan adalah *heat input*. *Heat input* merupakan fungsi dari tegangan busur las, besar arus las, dan kecepatan pengelasan. Rumus yang digunakan untuk menentukan besarnya *heat input* yaitu:

$$\text{Heat input (Kj/mm)} = (\text{Arus (I)} \times \text{Tegangan (V)} \times 60) / (\text{Travel Speed (TS)} \times 1000)$$

Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan. Apabila *heat input* dari suatu pengelasan terlalu tinggi maka daerah HAZ akan menjadi lebar sehingga mudah terjadi cacat seperti undercut. Akan tetapi apabila *heat input* terlalu kecil maka juga akan menimbulkan cacat las seperti inclusion.

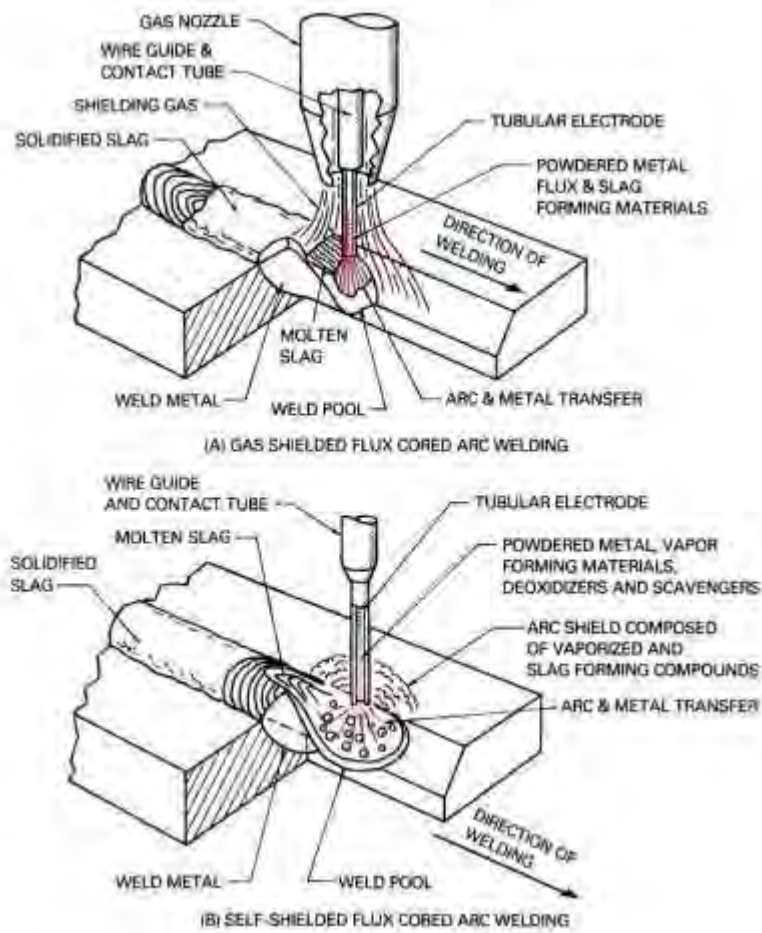
Efek dari *heat input* terhadap laju pendinginan hampir sama dengan temperatur pemanasan awal. Apabila *heat input* atau temperatur pemanasan awal dinaikkan maka laju pendinginan akan turun yang biasanya digunakan untuk base metal yang tebal.

*Heat input* akan mempengaruhi material properties pada pengelasan. Pada pengelasan multiple-pass, bagian dari pengelasan pas sebelumnya akan dihaluskan oleh pas selanjutnya, sehingga ketangguhan material akan meningkat. Hal ini disebabkan karena panas dari suatu pass akan mengeraskan weld metal yang sebelumnya. Apabila bagiannya kecil, maka akan terjadi perbaikan oleh butir yang lebih besar sehingga ketangguhan material pada kondisi ada notch lebih baik. [R.Scott,1999].

#### **D. Flux Cored Arc Welding (FCAW)**

Pengelasan *Flux Cored Arc Welding* adalah pengelasan yang menggunakan panas dari busur listrik yang dihasilkan antara filler metal yang kontinyu dan benda kerja. Pengelasan FCAW hampir sama dengan GMAW yang membedakan adalah pada FCAW menggunakan *electrode* tubular yang didalamnya terdapat *flux* yang akan berfungsi sebagai gas pelindung sedangkan pada GMAW menggunakan menggunakan *solid wire*. *Flux* yang ada di dalam *electrode* akan memberikan perlindungan pada molten weld pool terhadap udara luar, memperbaiki kekuatan karena reaksi kimia dan campuran, memperbaiki weld shape.

Perlindungan menggunakan self-shielded tidak memerlukan perlindungan tambahan berupa external gas shielding, akan tetapi beberapa *electrode* pada FCAW memerlukannya. Jika external gas shielding diperlukan biasanya gas yang digunakan adalah carbon dioksida, argon, atau campuran keduanya. Campuran dari 75% argon – 25% karbon dioksida bisa digunakan untuk memperbaiki karakteristik busur las dan memperbaiki sifat mekanik dari hasil pengelasan.



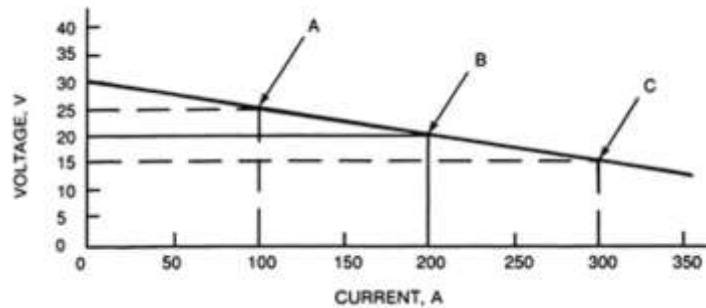
Gambar 2. 1 Perbedaan Self-Shielded dengan Gas Shielded

Sumber : modul kuliah teknologi pengelasan, Teknik Perkapalan ITS

Prinsip pengoperasian dari FCAW mirip dengan GMAW, yaitu FCAW menggunakan constant voltage (CV) sebagai power supply. CV power supplies menghasilkan arus yang berbeda dengan cara mengatur voltasenya.

Keuntungan yang diperoleh dari pengelasan FCAW adalah sebagai berikut :

1. Kualitas deposit logam yang tinggi
2. Pengelasan baja dengan macam-macam ketebalan
3. Bentuk hasil lasan *smooth* dan *uniform*
4. Deformasi puntiran lebih kecil daripada SMAW
5. *Visible arc*, mudah dalam penggunaan



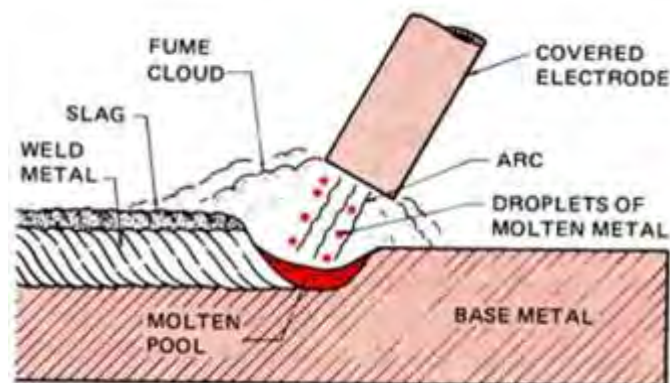
Gambar 2. 2 Hubungan Volt-Ampere pada Constan Voltage Power Source

Sumber : modul kuliah teknologi pengelasan, Teknik Perkapalan ITS

### E. Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Pada SMAW pengelasan menggunakan panas yang berasal dari busur listrik yang dihasilkan dari covered metal *electrode* dengan benda kerja. Gas pelindung pada SMAW berasal dari *flux* coating pada *electrode* yang ikut meleleh saat proses pengelasan dan kemudian akan membentuk slag.

Proses pengelasan dengan metode SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas DCEN (*straight polarity*- polaritas langsung) dan DCEP (*reverse polarity* - polaritas terbalik). Perbedaan antara SMAW dengan arus AC dan DC adalah sebagai berikut:

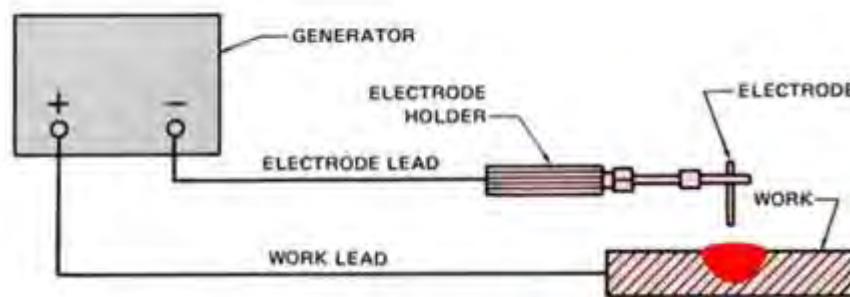


Gambar 2. 3 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Sumber : modul kuliah teknologi pengelasan, Teknik Perkapalan ITS

Pada arus AC (*Alternating Current*) arah electron berubah setiap 1/120 detik, hal ini membuat *electrode* dan benda kerja bisa berfungsi sebagai anoda ataupun katoda. Perubahan yang cepat ini membuat panas terdistribusi secara seimbang antara benda kerja dan *electrode*. 50% pada benda kerja dan 50% pada *electrode*.

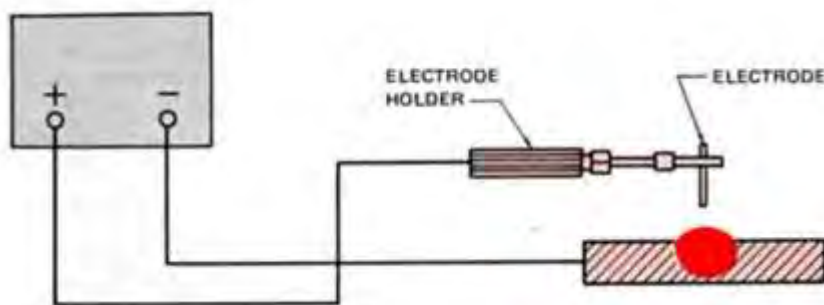
Selanjutnya untuk DCEN (*Straight Polarity*), material dasar atau material yang akan dilas disambungkan dengan kutup positif (+) dan elektrodanya disambungkan dengan kutup negatif (-) pada mesin las DC. Dengan cara ini busur listrik bergerak dari elektrode ke material dasar sehingga tumbukan elektron berada di material dasar yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam (deep penetration), sehingga baik digunakan pada pengelasan yang lambat, wilayah yang sempit dan untuk pelat yang tebal.



Gambar 2. 4 *Straight Polarity* (DCSP), *Electrode Negative* (DCEN)

Sumber : modul kuliah teknologi pengelasan, Teknik Perkapalan ITS

Pada DCEP (*Reversed Polarity*), material dasar disambungkan dengan kutup negatif (-) dan elektrodanya disambungkan dengan kutup positif (+) dari mesin las DC, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan tumbukan elektron berada di elektrode yang berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal (shallow penetration)

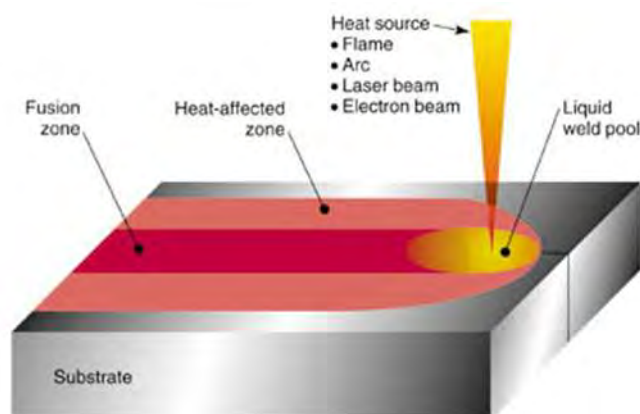


Gambar 2. 5 *Reverse Polarity* (DCRP), *Electrode Positive* (DCEP)

Sumber : modul kuliah teknologi pengelasan, Teknik Perkapalan ITS

## F. Heat Affected Zone (HAZ)

HAZ adalah area yang memiliki struktur mikro dan sifat yang berubah karena pengelasan. Logam akan mengalami perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tertinggi yang dicapai pada pengelasan, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan. Daerah HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah ini.



Gambar 2. 6 *Heat Affected Zone (HAZ)*

Sumber : modul kuliah teknologi pengelasan, Teknik Perkapalan ITS

## G. Definisi *preheat*

Definisi *preheat* menurut AWS (American Welding Society) adalah panas yang diberikan kepada logam yang akan dilas untuk mendapatkan dan memelihara *preheat temperature*. Sedangkan *preheat temperature* sendiri definisinya adalah suhu dari logam induk (base metal) disekitar area yang akan dilas, sebelum pengelasan itu dimulai. Pada *multipass weld* definisi *preheat temperature* adalah suhu sesaat sebelum pengelasan pada pass (celah) selanjutnya dimulai. Pada *multipass weld* disebut juga sebagai *interpass temperature* (suhu antar pass (celah)).

*preheating* bisa saja menggunakan *gas burner*, *oxy-gas flame*, *electric blanket*, pemanasan induksi, atau pemanasan di *furnace*. Pemanasan disekitar area pengelasan disuahkan merata untuk mendapatkan hasil yang bagus. Pemanasan yang berlebihan atau tidak merata dapat menyebabkan tegangan sisa yang tinggi, distorsi, atau perubahan metalurgi yang tidak diinginkan pada logam induk.

Ketika *preheat* diperlukan maka semua sambungan pengelasan harus dipanaskan sampai pada temperatur yang diinginkan (temperatur *preheat* bagian luar dan dalam logam induk harus tercapai), jika memungkinkan panasi logam induk pada salah satu sisi dan ukur temperatur logam sisi berlawanannya. Panas yang terjadi akan dihantarkan dengan cara

konduksi dan inspektor harus meyakinkan suhu sisi yang berlawanan tersebut. Informasi mengenai batasan *interpass* temperatur harus disertakan dalam WPS. Ketika *multipass* weld dilakukan maka deposit yang terjadi setelah pengelasan sebelumnya harus diinspect sebelum melakukan pengelasan lebih lanjut. Apabila suhu *interpass* terlalu tinggi dari yang telah ditetapkan dalam WPS maka pengelasan harus dihentikan dan *interpass* perlu didinginkan sampai di atas batasan *interpass* temperatur sebelum melanjutkan pengelasan.

Berdasarkan sifat metalurgi dan atau sifat mekanis yang diinginkan dari komponen pengelasan, *preheat* dan *interpass* temperature bisa dievaluasi untuk alasan yang berbeda. Prosedur (WPS) pengelasan untuk baja lunak (mild steel) yang mempunyai kandungan karbon rendah, hardenability yang relatif rendah bisa saja dipertimbangkan untuk tidak menggunakan *preheat* dan *interpass temperature* tergantung dari ketebalan material. Prosedur (WPS) yang digunakan untuk pengelasan heat-treatable low alloy steel dan Chromium-Molybdenum (cromoly) steel akan memerlukan *preheat* dan *interpass temperature* minimum dan maksimum. Material alloy tersebut bisa mempunyai hardenability yang tinggi dan rentan terhadap hydrogen cracking. Apabila material tersebut didinginkan terlalu cepat atau terjadi overheating maka dapat mengakibatkan efek yang serius terhadap performance yang diinginkan. Sewaktu pengelasan nickel alloy perlu diperhatikan *heat input* selama proses pengelasan. *Heat input* dari proses pengelasan, dan *preheat* serta *interpass temperature* dapat mengakibatkan efek yang serius kepada material tersebut. *Heat input* yang tinggi dapat mengakibatkan kelebihan leburan logam induk, presipitasi karbida, dan fenomena metalurgi yang berbahaya lainnya. Perubahan sifat metalurgikal tersebut dapat menyebabkan tumbuhnya cracking atau kehilangan ketahanan terhadap korosi. Prosedur (WPS) untuk pengelasan aluminum alloy seperti tipe heat-treatable 2xxx, 6xxx, dan 7xxx sangat memperhatikan dengan pengurangan *heat input* keseluruhan. Untuk material jenis ini suhu maksimum *preheat* dan *interpass temperature* dikontrol untuk meminimalkan annealing dan pengaruh over-aging terhadap *Heat Affected Zone* (HAZ) dan hilang atau berkurangnya tensile strength.

#### **H. Fungsi *preheat***

Pada aplikasi-aplikasi yang kritis, *preheat temperature* harus dikontrol dengan presisi. Pada situasi seperti ini sistem pemanasan yang bisa diatur sangat dibutuhkan, thermocouple dipasang untuk memonitor bagian yang sedang dipanaskan. Thermocouple memberikan sinyal untuk mengontrol unit yang bisa mengatur kebutuhan sumber tenaga untuk memanaskan part tersebut. Dengan menggunakan peralatan tipe tersebut part yang sedang

dipanaskan bisa dikontrol untuk toleransi yang sangat kecil. beberapa alasan *preheating* antara lain :

Untuk mengurangi kelembaban dari area pengelasan. Biasanya dilakukan dengan cara memanaskan permukaan material dengan suhu yang relatif tidak terlalu tinggi, hanya sedikit diatas titik didih air. Hal tersebut akan mengeringkan permukaan dan menghilangkan kontaminan yang tidak diinginkan yang mungkin bisa menyebabkan porosity, hydrogen embrittlement, atau cracking karena hydrogen selama proses pengelasan.

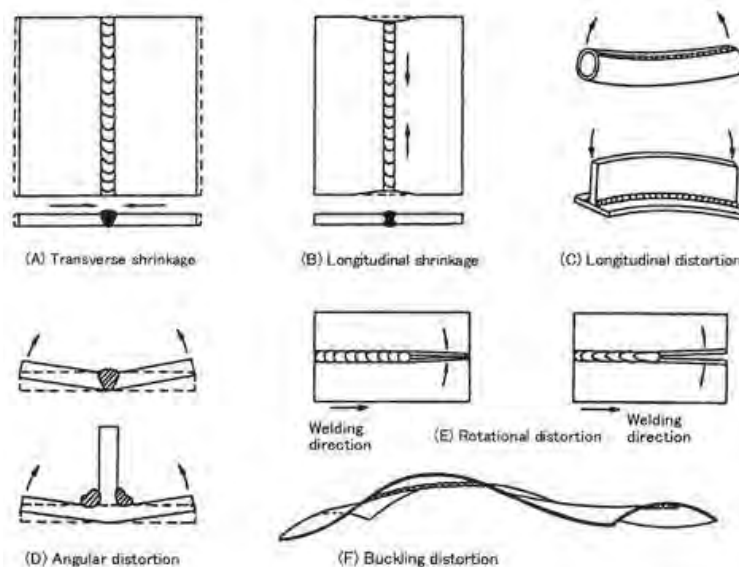
Untuk menurunkan gradient temperatur. Semua pengelasan busur menggunakan sumber panas temperatur tinggi. Pada material yang dilas akan terjadi perbedaan temperatur antara sumber panas lokal dan material induk yang lebih dingin ketika pengelasan berlangsung. Perbedaan temperatur tersebut menyebabkan perbedaan pemuaian panas dan kontraksi serta tegangan yang tinggi disekitar area yang dilas. *preheating* akan mengurangi perbedaan temperatur dari material induk sehingga akan meminimalkan masalah yang terjadi seperti distorsi dan tegangan sisa yang berlebih. Apabila tidak dilakukan *preheating* maka bisa terjadi perbedaan temperatur yang besar antara area las-lasan dengan logam induk. Hal ini dapat mengakibatkan pendinginan yang terlalu cepat sehingga menyebabkan terbentuknya martensit dan pada beberapa material dengan hardenability yang tinggi mungkin terjadi cracking.

## **I. Distorsi**

Setiap logam yang dipanaskan mengalami pemuaian dan ketika pendinginan akan mengalami penyusutan. Fenomena ini menyebabkan adanya ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas. Ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas ini menurut istilah metalurgi dinamakan distorsi.

Distorsi dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu: 1) distorsi longitudinal, 2) distorsi transversal, dan 3) distorsi *angular*. Distorsi longitudinal terjadi akibat adanya ekspansi dan kontraksi deposit logam las di sepanjang jalur las yang menyebabkan tarikan dan dorongan pada logam dasar yang dilas. Distorsi transversal terjadi tegak lurus terhadap jalur las yang dapat mengakibatkan tarikan ke arah sumbu tegak jalur las. Sedangkan distorsi *angular* adalah distorsi seperti sayap burung antara kiri dan kanan sama.





Gambar 2. 7 Macam – macam distorsi

Sumber : modul teori pengelasan Universitas Negeri Jogjakarta

#### J. ASTM A36

ASTM A36 mempunyai komposisi kimia dan sifat mekanik pada table dibawah ini

Tabel 1 Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik A36

Sumber : ASTM 36/A 36M - 97a

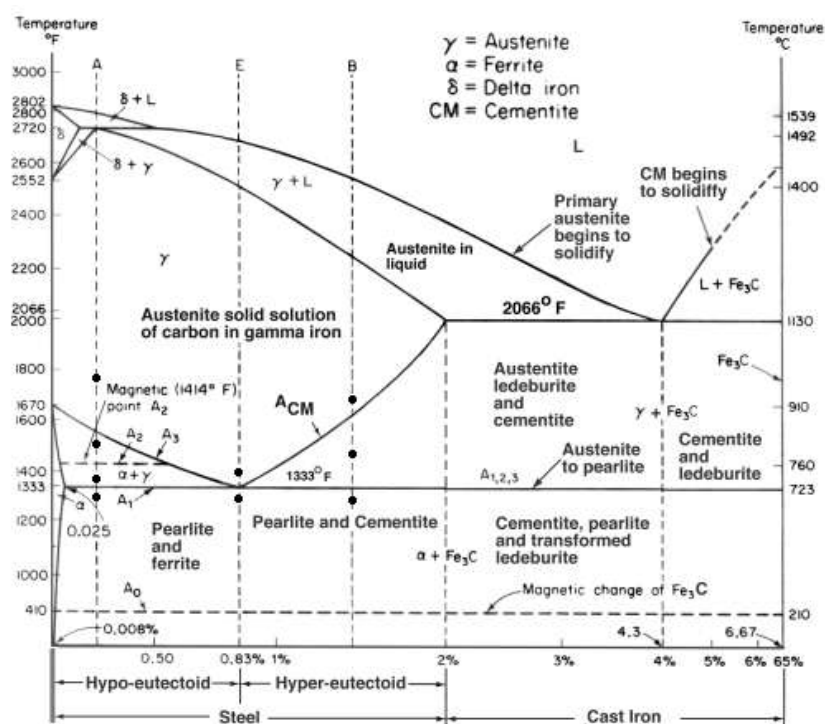
Element	Content
Carbon (C) max	0.25 – 0.29 % (tergantung ketebalan)
Copper (Cu) min	0.2 %
Iron (Fe)	98 %
Manganese (Mn) max	1.03 %
Phosphorus (P)	0.04 %
Silicon (Si)	0.4 % max
Sulfur (S) max	0.05 %
<b>Sifat mekanik</b>	<b>Nilai</b>
Tensile strength, Ultimate	58 – 80 ksi
Tensile strength, Yield	36 ksi
Elongation (in 200mm)	20 %
Elongation (in 50mm)	23 %
Modulus elasticity	29000 ksi

## K. Struktur Mikro

Baja dapat dilakukan *heat treatment* agar diperoleh struktur mikro dan sifat yang diinginkan. Struktur mikro dan sifat yang diinginkan tersebut dapat diperoleh melalui proses pemanasan dan pendinginan pada temperatur tertentu. Jika permukaan dari suatu spesimen baja dilakukan foto mikro maka akan tampak baja tersebut memiliki struktur yang berbeda beda. Jenis struktur dipengaruhi oleh komposisi kimia dari baja dan jenis perlakuan panas yang dilakukan pada baja tersebut. Struktur penyusun baja adalah *ferrite*, *Pearlite*, bainit, *martensite*, *cementite*.

Struktur mikro sangat berkaitan dengan sifat mekanis baja. Terdapat perbedaan antara sifat-sifat mekanis terutama karena banyaknya karbon di dalam baja. Hal ini tidak hanya disebabkan kadar karbon melainkan cara mengadakan ikatan dengan besi yang dapat mempengaruhi sifat baja. Baja yang didinginkan secara lambat menuju suhu ruangan dibedakan menjadi tiga bentuk utama struktur mikro : *ferrite*, *cementite* dan *pearlite*. (Schonmetz, 1985).

Gambar 2.8 adalah iron phase diagram yang menunjukkan perubahan struktur penyusun suatu baja jika dilakukan *heat treatment* ataupun pengelasan. Struktur penyusun yang terdapat pada baja (tergantung kadar C) adalah sebagai berikut.



Gambar 2. 8 Iron Phase Diagram

Sumber : [www.sv.vt.edu](http://www.sv.vt.edu)

**(a) FERRITE :**

*Ferrite* terbentuk pada proses Pendinginan yang lambat dari *austenite* baja *hipoeutektoid* pada saat mencapai A3. *Ferrite* bersifat sangat lunak, ulet dan memiliki kekerasan kurang dari *rockwell* B 90 atau kurang dari 0 HRC , *tensile strength* 40 ksi, elongation 40%, dan memiliki konduktifitas yang tinggi.

Jika *austenite* didinginkan di bawah A3, *austenite* yang memiliki kadar C yang sangat rendah akan bertransformasi ke *Ferrite* (yang memiliki kelarutan C maksimum sekitar 0,025 % pada temperatur 523<sup>0</sup>C).



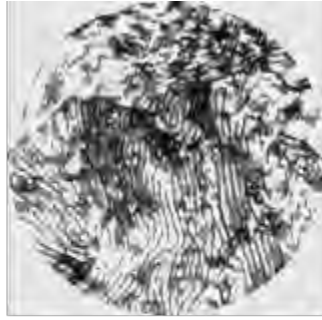
Gambar 2. 9 *Ferrite*

Sumber : sy.cust.edu.cn

**(b) PEARLITE**

*Pearlite* adalah campuran *cementite* dan *ferrite* yang memiliki kekerasan sekitar 10-30 HRC, elongation 20%.. Jika baja *eutektoid* (0,8%C) diaustenisasi dan didinginkan dengan cepat ke suatu temperatur dibawah A1, misalnya ke temperatur 500<sup>0</sup>C dan dibiarkan pada temperatur tersebut maka *austenite* akan mengurai dan membentuk *pearlite* melalui proses pengintian (nukleasi) dan pertumbuhan.

Pada baja *hipoeutektoid* (kadar karbonnya kurang dari 0,8%) struktur mikro baja akan terdiri dari daerah-daerah *pearlite* yang dikelilingi oleh *ferrite*. Sedangkan pada baja *hipereutektoid* (kadar karbonnya lebih dari 0,8%), pada saat didinginkan dari *austenitenya*, sejumlah *cementite proeutektoid* akan terbentuk sebelum *pearlite* dan tumbuh di bekas batas butir *austenite*.



Pearlite.  
 Ferrite = Light Areas  
 Cementite = Dark Areas

Gambar 2. 10 *Pearlite*

Sumber : [www.innovateus.net](http://www.innovateus.net)

### (c) **BAINITE**

Bainit adalah suatu fasa yang diberi nama sesuai dengan nama penemunya yaitu E.C. Bain. *Bainite* merupakan fasa yang kurang stabil (metastabil) yang diperoleh dari *austenite* pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur transformasi ke *pearlite* dan lebih tinggi dari temperatur transformasi ke *Martensite*. Sebagai contoh jika baja *eutektoid* yang diaustenisasi didinginkan dengan cepat ke temperatur sekitar 250 - 500°C dan dibiarkan pada temperatur tersebut, hasil transformasinya adalah berupa struktur yang terdiri dari *ferrite* dan *cementite* tetapi bukan *pearlite*.

Struktur tersebut dinamai *Bainite*. Kekerasannya bervariasi antara 45-55 HRC tergantung pada temperatur transformasinya. Ditinjau dari temperatur transformasinya, jika terbentuk pada temperatur yang relatif tinggi disebut *Upper Bainite* sedangkan jika terbentuk pada temperatur yang lebih rendah disebut sebagai *Lower Bainite*. Struktur *upper Bainite* seperti *pearlite* yang sangat halus sedangkan *lower Bainite* menyerupai tempered *martensite*.



Gambar 2. 11 *Bainite*

#### **(d)MARTENSITE**

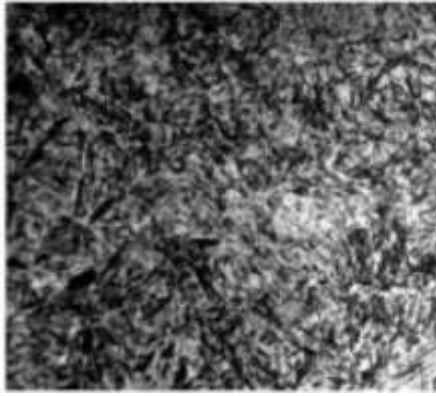
*Martensite* adalah fasa yang ditemukan oleh seorang metalografer yang bernama A. Martens. Sifatnya sangat keras dan diperoleh jika baja dari temperatur *austenitenya* didinginkan dengan laju pendinginan yang lebih besar dari laju pendinginan kritisnya.

Dalam paduan besi karbon dan baja, *austenite* merupakan fasa induk dan bertransformasi menjadi *martensite* pada saat pendinginan. Transformasi ke *martensite* berlangsung tanpa difusi sehingga komposisi yang dimiliki oleh *martensite* sama dengan komposisi *austenite*, sesuai dengan komposisi paduannya sel satuan *martensite* adalah *body center tetragonal* (BCT).

Awal dan akhir dari pembentukan *martensite* sangat tergantung pada komposisi kimia dari baja dan cara mengaustenisasi. Pada baja karbon, temperatur awal dan akhir dari pembentukan *martensite* sangat tergantung pada kadar karbon. Makin tinggi kadar karbon suatu baja makin rendah temperatur awal dan akhir dari pembentukan *martensite* tersebut terlihat bahwa untuk baja dengan kadar karbon lebih dari 0,5%, transformasi ke *martensite* akan selesai pada temperatur dibawah temperatur kamar. Dengan demikian, jika kadar karbon melampaui 0,5%, maka pada temperatur kamar akan terdapat *martensite* dan *austenite* sisa. Makin tinggi kadar karbon, pada baja akan makin besar jumlah *austenite* sisanya. *Austenite* yang belum sempat bertransformasi menjadi *martensite* disebut sebagai *austenite* sisa.

Struktur *martensite* tampak seperti jarum atau pelat-pelat halus. Halus kasarnya pelat atau jarum tergantung pada ukuran butir dari *austenite*. Jika butir *austenitenya* besar maka *martensite* yang akan diperoleh menjadi lebih kasar. Pembentukan *martensite* diiringi juga kenaikan volume spesifik sekitar 3%. Hal inilah yang menyebabkan mengapa timbul tegangan pada saat dikeraskan. Tegangan yang terjadi dapat menimbulkan distorsi dan bahkan dapat menyebabkan timbulnya retak.

Penyebab tingginya kekerasan *martensite* adalah karena terjadinya regangan yang tinggi akibat adanya atom-atom karbon. Berdasarkan hal ini, kekerasan *martensite* sangat dipengaruhi oleh kadar karbon. Kekerasan *martensite* berkisar antara 20 - 65 HRC. Makin tinggi kadar karbon dalam *martensite*, makin besar distorsi yang dialami dan mengakibatkan makin tingginya kekerasan *martensite*.



Gambar 2. 12 *Martensite*

Sumber : [www.practicalmaintenance.net](http://www.practicalmaintenance.net)

**(e) *CEMENTITE***

*Cementite* adalah senyawa besi dengan karbon yang umum dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimianya  $\text{Fe}_3\text{C}$  (prosentase karbon pada *cementite* adalah sekitar 6,65 %) Sel satuannya adalah *ortorombik* dan bersifat keras dengan harga kekerasannya sekitar 65-68 HRC.



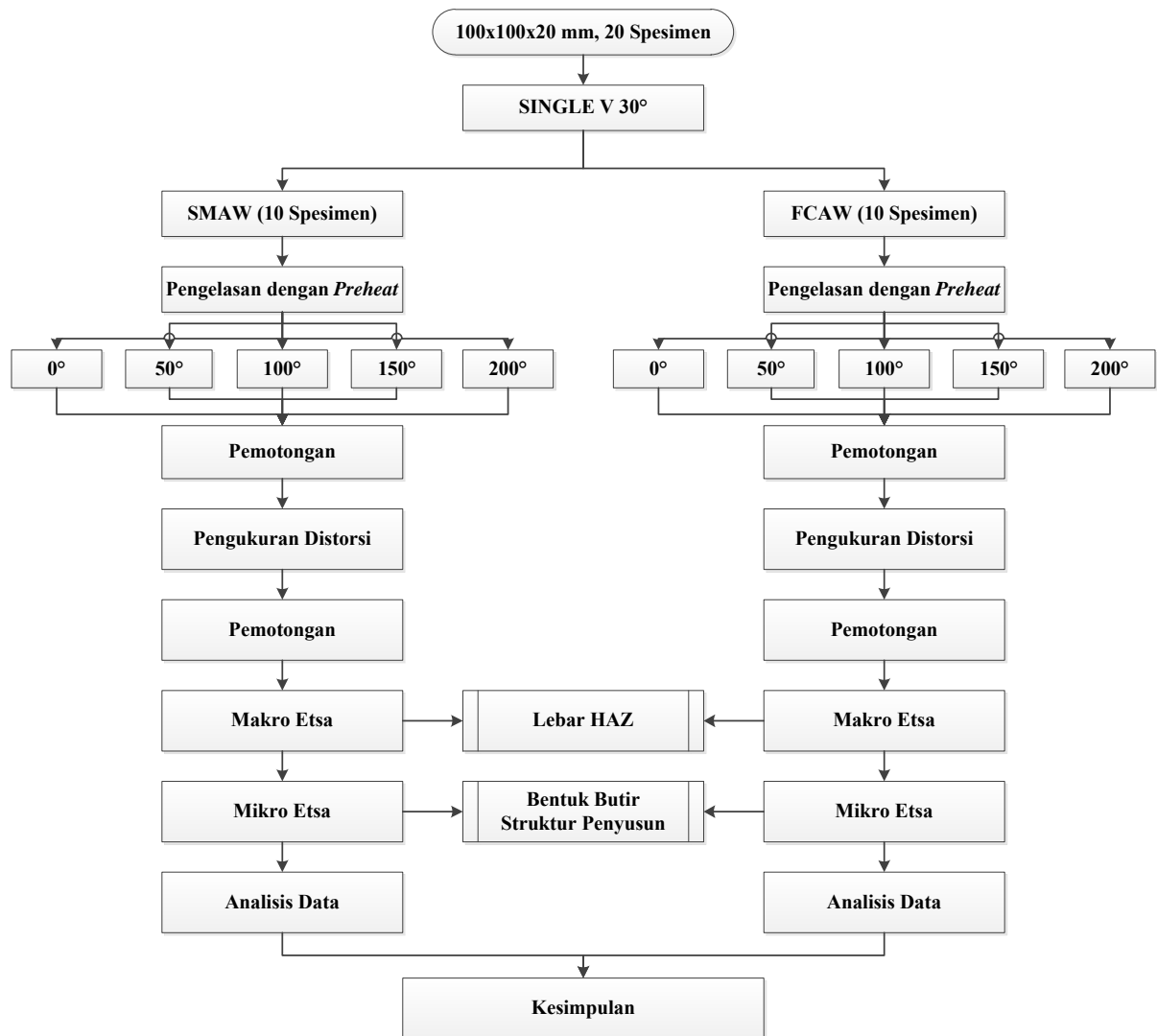
Gambar 2. 13 *Cementite*

Sumber : [sy.cust.edu.cn](http://sy.cust.edu.cn)

## BAB III

### METODOLOGI

Untuk membantu pelaksanaan tugas akhir ini, maka perlu dibuat suatu urutan metode yang menjadi kerangka acuan dalam pelaksanaannya. Kerangka ini berisi tahapan – tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dari pengerjaan tugas akhir. Dimulai dari identifikasi masalah sampai nantinya mendapatkan kesimpulan atas pengerjaan tugas akhir ini. Dibawah ini adalah kerangka acuan dalam mengerjakan tugas akhir.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan

#### 3.1 Identifikasi Masalah

Pada tahapan awal pengerjaan tugas akhir dilakukan identifikasi dan perumusan masalah yang terkait dengan penentuan spesimen, *electrode*, *preheat*, HAZ, dan struktur mikro yang diperoleh dari studi literatur baik dari internet maupun jurnal terkait. Variasi temperatur *preheat* yang akan diberikan adalah seperti tabel dibawah ini.

Tabel 2 Variasi temperatur *preheat*

<b><i>Preheat</i> (°C)</b>	<b>SMAW</b>	<b>FCAW</b>
<b>Tanpa <i>preheat</i></b>	√	√
<b>50</b>	√	√
<b>100</b>	√	√
<b>150</b>	√	√
<b>200</b>	√	√

### 3.2 Pengadaan material

Material didapatkan dari PT. Jaya Pari Steel Tbk yang terletak di jalan margomulyo, No. 4 Tandes Surabaya.

### 3.3 Pembuatan Spesimen

Pada tahapan ini akan dibuat spesimen yang nantinya akan dilas menggunakan SMAW dan FCAW. Pemotongan material ASTM A36 berukuran 100 x 100 x 20 mm sebanyak 20 spesimen dengan *groove angle* 60°, *root face* 3 mm, *root opening* 3 mm.



Gambar 3. 2 Material dengan Single V-groove

### 3.4 Pengelasan Material

Pengelasan dilakukan di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (DPS) menggunakan jenis pengelasan SMAW dan FCAW. Pengelasan dilakukan dengan parameter seperti tabel dibawah ini.



Tabel 3 Parameter Pengelasan

Pengelasan	Voltage		Ampere		Speed (mm/s)		Electrode	Diameter (mm)	Shielding gas	Polaritas	
	bawah	atas	bawah	atas	bawah	atas				Layer 1	Layer 2 - dst
<b>SMAW</b>	23	27	150	160	150	170	E6013	4	-	DCEP	DCEN
<b>FCAW</b>	24	25	210	225	230	260	K-71T	1.2	CO <sub>2</sub>	DCEP	DCEN

Sebelum dilakukan pengelasan material diberikan *tack weld* di kedua ujungnya agar tidak terjadi *mis-alignment*. Selanjutnya dilakukan *preheating* menggunakan blander secara merata di permukaan material sampai mencapai temperatur yang diinginkan. Setelah itu dilakukan pengelasan layer pertama. Karena di dalam proses pengelasan terjadi perpindahan panas maka suhu material akan naik. Sebelum dilakukan pengelasan untuk layer berikutnya material didinginkan dalam suhu kamar sampai mencapai titik *preheat* awal (*interpass temperature*). Hali ini dilakukan sampai seluruh layer selesai dilas. Setelah selesai dilakukan backgouging dengan sebelumnya dilakukan proses *preheating* seperti awal setelah itu dilas lagi seperti langkah sebelumnya.



(a)

(b)

Gambar 3. 3 Base metal setelah di *tack weld* (a), *preheating* material (b)

(a)

(b)

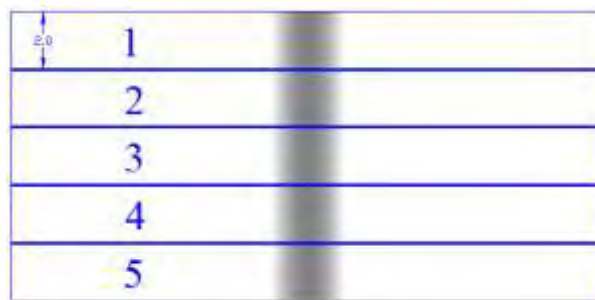
Gambar 3. 4 Proses pengelasan (a), Proses backgouging (b)



Gambar 3. 5 Material setelah backgouging

### 3.5 Pemotongan Material

Material dipotong menggunakan gergaji potong menjadi lima spesimen secara melintang di laboratorium konstruksi dan kekuatan kapal.



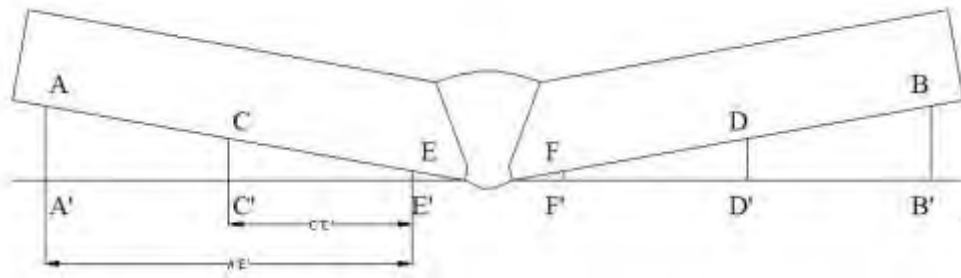
Gambar 3.6 Desain Potongan material



Gambar 3.7 Proses Pemotongan Material Sesuai Desain

### 3.6 Tahap Pengumpulan Data Pertama (Nilai Distorsi)

Setelah pemotongan material selesai selanjutnya dilakukan pengukuran distorsi pada setiap hasil pengelasan. Cara pengukuran distorsi adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 8 Pengukuran Distorsi

$$\text{Angular Distortion (A-D)} = (\tan^{-1}(U_1/A'E') + \tan^{-1}(U_2/C'E'))/2$$

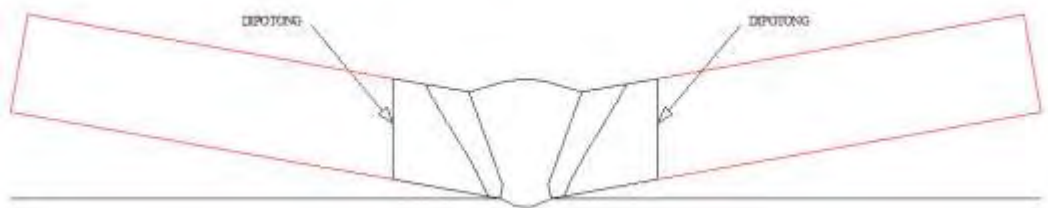
$$U_1 = ((AA' + BB') - (EE' + FF'))/2$$

$$U_2 = ((CC' + DD') - (EE' + FF'))/2$$

Karena ada lima titik acuan maka akan diambil rata-rata dari kelima hasil pengukuran.

### 3.7 Pemotongan Material

Pada tahap ini material dipotong menjadi lebih pendek yang berpusat pada weld metal. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses penghalusan untuk dilakukan proses makro etsa



Gambar 2. 14 Pemotongan material

### 3.8 Makro etsa

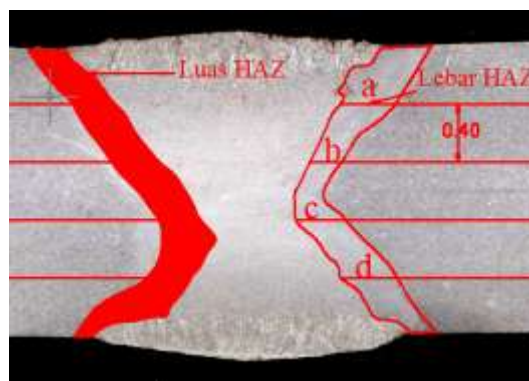
Pada spesimen nomor 2,3, dan 4 yang telah diukur distorsinya akan dipotong lagi lalu digerinda untuk meratakan permukaan material. Setelah itu dihaluskan dengan mesin poles menggunakan kertas gosok sampai kekasaran 800. Setelah itu diberikan cairan etsa (90% alkohol, 10% HNO<sub>3</sub>) dengan cara diusapkan menggunakan kapas lalu diguyur dengan air, setelah itu diguyur alkohol dan terakhir dikeringkan menggunakan *hair dryer*.



Gambar 3. 9 Mesin poles (a) spesimen setelah dilakukan makro etsa (b)

### 3.9 Tahap Pengumpulan Data Kedua (lebar dan luas HAZ)

Semua specimen yang sudah dilakukan makroetsa diukur lebar dan luas HAZ menggunakan bantuan software autocad. Lebar HAZ diukur di empat titik bagian kanan dan kiri lalu diambil rata-ratanya.



Gambar 3. 10 Lebar dan luas HAZ

### 3.10 Mikro Etsa

Pada potongan nomor 3 dihaluskan lagi dengan mesin poles sampai kekasaran 2000 lalu dihaluskan lagi dengan polisher agar lebih mengkilat. Setelah itu dioleskan cairan etsa (95% alkohol, 5%  $\text{HNO}_3$ ) ke permukaan logam menggunakan kapas. Kemudian guyur dengan air, setelah itu diguyur alkohol dan terakhir dikeringkan menggunakan *hair dryer*.

### 3.11 Tahap Pengumpulan Data Ketiga

Dilakukan proses foto mikro menggunakan mikroskop dengan perbesaran 400x di daerah base metal, HAZ, dan weld metal untuk mengetahui struktur penyusun dan bentuk butirnya.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab IV ini akan dipaparkan hasil dari pengujian makro etsa dan foto mikro yang dilakukan di laboratorium konstruksi dan kekuatan kapal FTK ITS. Hasil pengujian berupa distorsi, lebar HAZ, dan struktur mikro dengan variasi sebanyak 10. Hasil yang didapatkan akan dibahas di dalam bab ini.

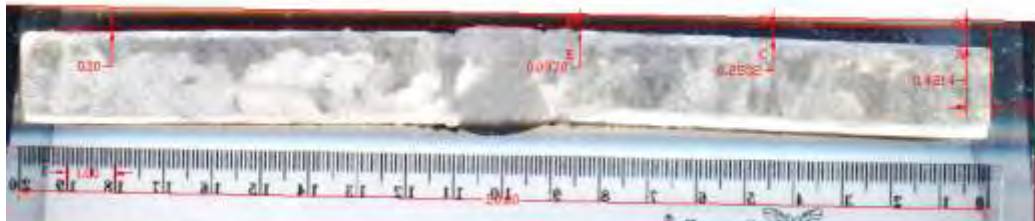
#### 4.1 Distorsi *Angular*

Distorsi *angular* terjadi karena adanya ekspansi dan kontraksi akibat perbedaan suhu pada logam yang dilas. Setiap satu spesimen diukur di lima titik, Berikut ini adalah foto dari distorsi yang terjadi.

##### 4.1.1 Distorsi *Angular* pada Pengelasan SMAW

###### A. Pengelasan SMAW Tanpa *preheat*

Gambar 4.1.1 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan spesimen pengelasan SMAW tanpa *preheat* dalam satuan *centimeter*.



(a)



(b)

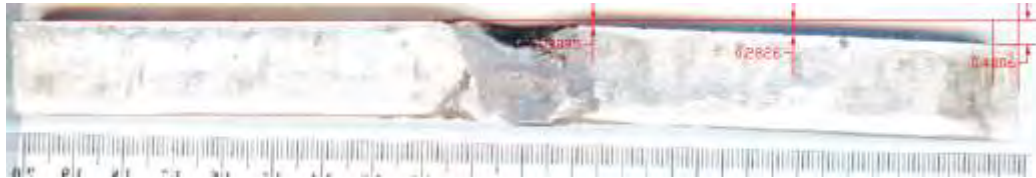


(c)





(d)



(e)

Gambar 4.1.1 Distorsi pengelasan SMAW tanpa *preheat* pada Potongan 1(a) Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

Berikut ini pada tabel 3 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan SMAW tanpa *preheat* seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW Tanpa *preheat*

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.421	0.250	0.097	8	4	0.324	0.153	0.041	0.038	0.039	2.258
2	0.411	0.257	0.108	8	4	0.303	0.149	0.038	0.037	0.038	2.153
3	0.370	0.195	0.031	8	4	0.338	0.164	0.042	0.041	0.042	2.385
4	0.356	0.188	0.019	8	4	0.336	0.169	0.042	0.042	0.042	2.410
5	0.481	0.283	0.110	8	4	0.371	0.173	0.046	0.043	0.045	2.567
MEAN											2.354

#### B. Pengelasan SMAW *preheat* 50° C

Gambar 4.1.2 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 50° C dalam satuan *centimeter*.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.1. 2 Distorsi pengelasan SMAW *preheat* 50° C pada Potongan 1(a), Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

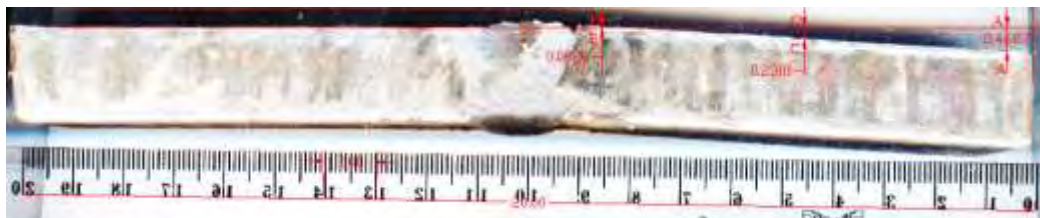
Berikut ini pada tabel 4 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 50° C seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 5 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW *preheat* 50° C

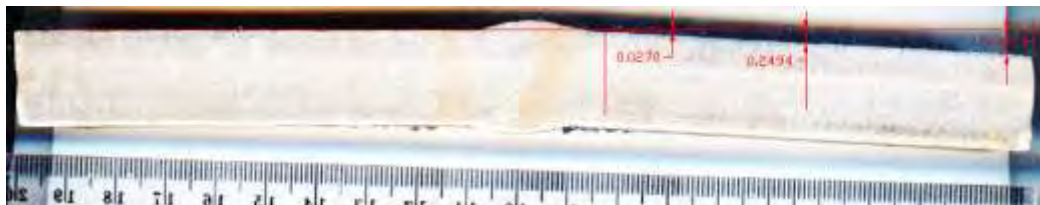
No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.524	0.293	0.058	8	4	0.466	0.235	0.058	0.059	0.059	3.355
2	0.584	0.341	0.113	8	4	0.471	0.228	0.059	0.057	0.058	3.322
3	0.646	0.407	0.173	8	4	0.473	0.234	0.059	0.058	0.059	3.367
4	0.738	0.486	0.255	8	4	0.483	0.231	0.060	0.058	0.059	3.389
5	0.741	0.506	0.271	8	4	0.470	0.235	0.059	0.059	0.059	3.367
MEAN										3.360	

C. Pengelasan SMAW *preheat* 100° C

Gambar 4.1.3 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan spesimen pengelasan SMAW *preheat* 100° C dalam satuan *centimeter*.



(a)



(b)

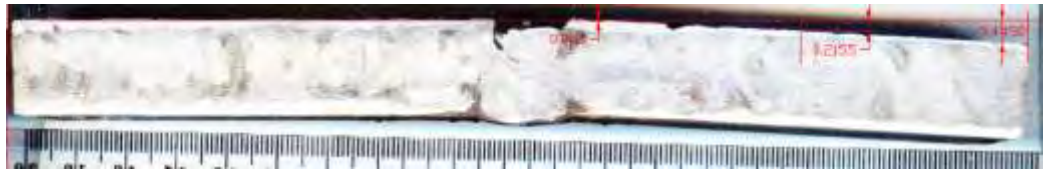


(c)



(d)





(e)

Gambar 4.1. 3 Distorsi pengelasan SMAW *preheat* 100° C pada Potongan 1(a), Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

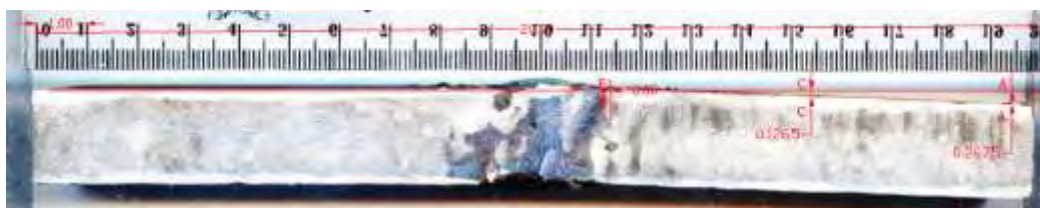
Berikut ini pada tabel 5 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 100° C seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 6 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW *preheat* 100° C

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.468	0.230	0.009	8	4	0.460	0.222	0.057	0.055	0.056	3.234
2	0.471	0.249	0.027	8	4	0.444	0.222	0.056	0.056	0.056	3.185
3	0.525	0.295	0.075	8	4	0.450	0.220	0.056	0.055	0.056	3.187
4	0.573	0.342	0.119	8	4	0.454	0.223	0.057	0.056	0.056	3.222
5	0.445	0.216	0.011	8	4	0.434	0.204	0.054	0.051	0.053	3.019
MEAN										3.170	

#### D. Pengelasan SMAW *preheat* 150° C

Gambar 4.1.4 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan specimen pengelasan SMAW tanpa *preheat* dalam satuan *centimeter*.



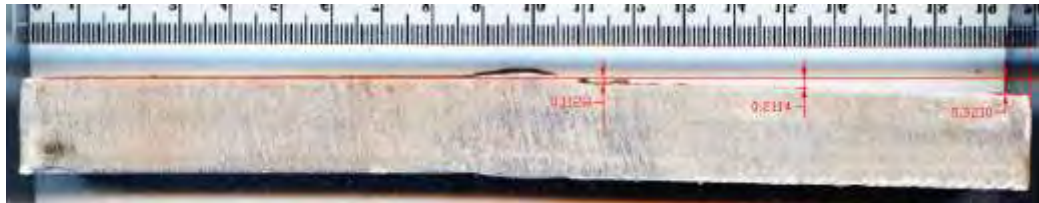
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.1. 4 Distorsi Pengelasan SMAW *preheat* 150° C pada Potongan 1(a) , Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

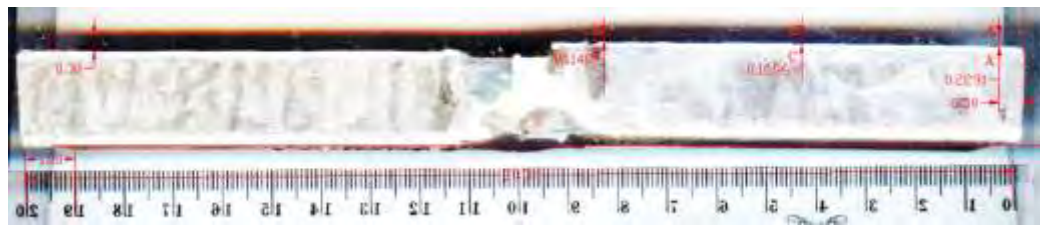
Berikut ini pada tabel 6 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 150° C seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 7 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW *preheat* 150° C

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.268	0.127	0.000	8	4	0.268	0.127	0.033	0.032	0.033	1.864
2	0.258	0.131	0.016	8	4	0.243	0.115	0.030	0.029	0.030	1.693
3	0.288	0.178	0.074	8	4	0.215	0.104	0.027	0.026	0.026	1.512
4	0.321	0.211	0.113	8	4	0.208	0.099	0.026	0.025	0.025	1.452
5	0.406	0.284	0.170	8	4	0.237	0.114	0.030	0.028	0.029	1.663
										MEAN	1.637

E. Pengelasan SMAW *preheat* 200° C

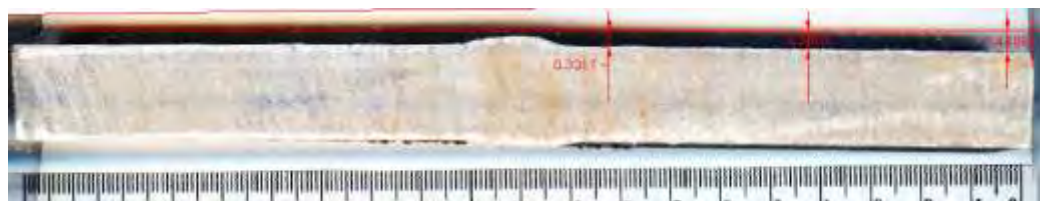
Gambar 4.1.5 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 200° C dalam satuan *centimeter*.



(a)



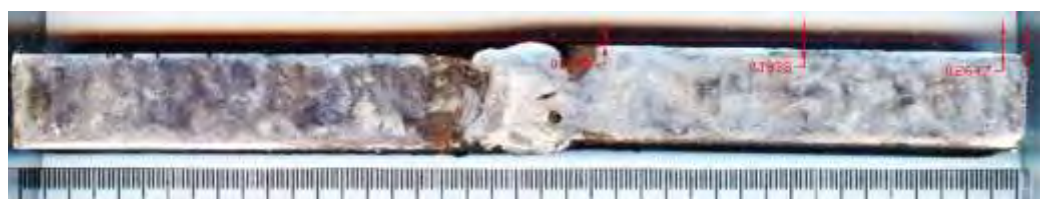
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.1. 5 Distorsi Pengelasan SMAW *preheat* 200° C pada Potongan 1(a) , Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

Berikut ini pada tabel 7 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 200° C seperti yang dijelaskan pada bab 3.



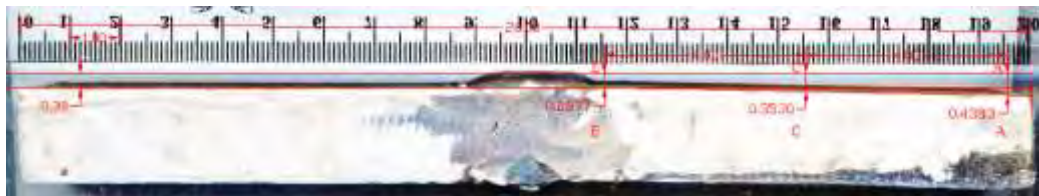
Tabel 8 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW *preheat* 200° C

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.229	0.170	0.114	8	4	0.115	0.056	0.014	0.014	0.014	0.810
2	0.347	0.290	0.232	8	4	0.115	0.058	0.014	0.014	0.014	0.827
3	0.444	0.380	0.332	8	4	0.112	0.049	0.014	0.012	0.013	0.749
4	0.384	0.287	0.248	8	4	0.136	0.039	0.017	0.010	0.013	0.764
5	0.265	0.194	0.134	8	4	0.131	0.060	0.016	0.015	0.016	0.902
MEAN										0.8103	

#### 4.1.2 Distorsi *Angular* pada Pengelasan FCAW

##### A. Pengelasan FCAW Tanpa *preheat*

Gambar 4.1.6 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan spesimen pengelasan SMAW tanpa *preheat* dalam satuan *centimeter*.



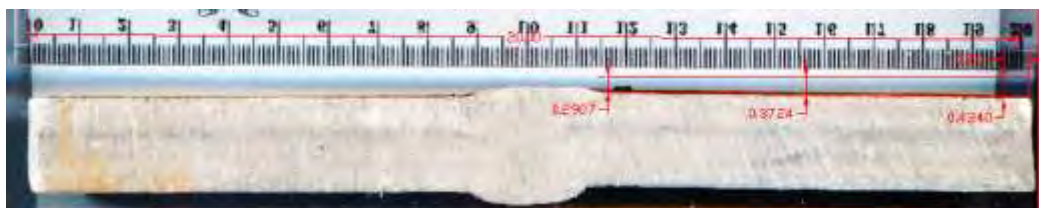
(a)



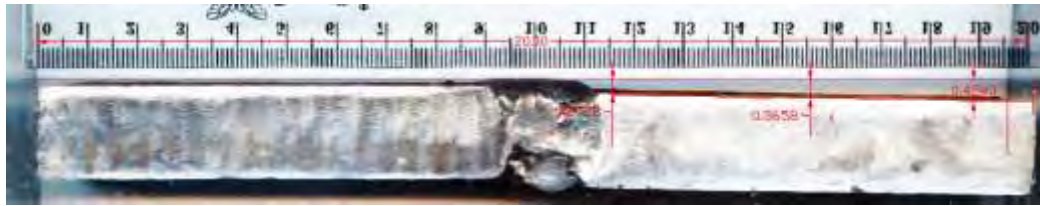
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.1.6 Distorsi Pengelasan FCAW tanpa *preheat* pada Potongan 1(a) , Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

Berikut ini pada tabel 8 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan FCAW tanpa *preheat* seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 9 rekapitulasi distorsi pengelasan FCAW tanpa *preheat*

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
5	0.438	0.353	0.288	8	4	0.151	0.065	0.019	0.016	0.018	1.007
4	0.424	0.360	0.295	8	4	0.129	0.064	0.016	0.016	0.016	0.922
3	0.415	0.351	0.286	8	4	0.129	0.064	0.016	0.016	0.016	0.921
2	0.434	0.372	0.291	8	4	0.143	0.082	0.018	0.020	0.019	1.098
1	0.424	0.368	0.273	8	4	0.151	0.096	0.019	0.024	0.021	1.226
										MEAN	1.034

#### B. Pengelasan FCAW *preheat* 50° C

Gambar 4.1.7 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 50° C dalam satuan *centimeter*.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.1.7 Distorsi Pengelasan FCAW *preheat* 50° pada Potongan 1(a) , Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

Berikut ini pada tabel 9 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 50° C seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 10 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan FCAW *preheat* 50° C

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.637	0.387	0.181	8	4	0.456	0.206	0.057	0.052	0.054	3.105
2	0.520	0.287	0.061	8	4	0.459	0.226	0.057	0.057	0.057	3.262
3	0.528	0.296	0.075	8	4	0.453	0.222	0.057	0.055	0.056	3.205
4	0.545	0.313	0.091	8	4	0.454	0.222	0.057	0.056	0.056	3.213
5	0.542	0.298	0.064	8	4	0.478	0.235	0.060	0.059	0.059	3.388
MEAN											3.235

### C. Pengelasan FCAW *preheat* 100° C

Gambar 4.1.8 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 100° C dalam satuan *centimeter*.





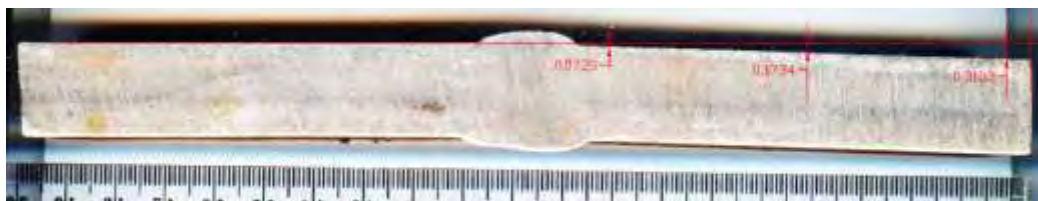
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.1. 8 Distorsi Pengelasan FCAW *preheat* 100° pada Potongan 1(a) , Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

Berikut ini pada tabel 10 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 100° C seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 11 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan SMAW *preheat* 100° C

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.316	0.172	0.061	8	4	0.255	0.110	0.032	0.028	0.030	1.703
2	0.293	0.165	0.051	8	4	0.242	0.114	0.030	0.028	0.029	1.682
3	0.281	0.163	0.049	8	4	0.233	0.114	0.029	0.029	0.029	1.649
4	0.310	0.173	0.065	8	4	0.245	0.108	0.031	0.027	0.029	1.651
5	0.256	0.129	0.014	8	4	0.242	0.115	0.030	0.029	0.030	1.692
MEAN										1.675	

D. Pengelasan FCAW *preheat* 150° C

Gambar 4.1.9 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan spesimen pengelasan FCAW *preheat* 150° C dalam satuan *centimeter*.



(a)



(b)



(c)



(d)





(e)

Gambar 4.1. 9 Distorsi Pengelasan FCAW *preheat* 150° C pada Potongan 1(a) , Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

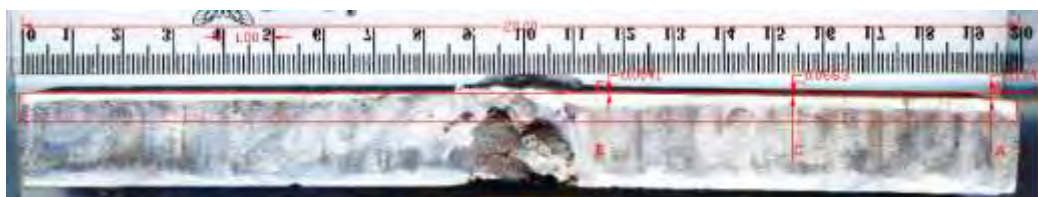
Berikut ini pada tabel 11 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 150° C seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 12 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan FCAW *preheat* 150°C

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.561	0.461	0.361	8	4	0.200	0.100	0.025	0.025	0.025	1.431
2	0.577	0.468	0.358	8	4	0.219	0.110	0.027	0.027	0.027	1.570
3	0.564	0.458	0.352	8	4	0.213	0.106	0.027	0.027	0.027	1.522
4	0.287	0.154	0.056	8	4	0.231	0.098	0.029	0.025	0.027	1.531
5	0.291	0.149	0.048	8	4	0.243	0.101	0.030	0.025	0.028	1.593
MEAN										1.529	

#### E. Pengelasan FCAW *preheat* 200° C

Gambar 4.1.10 menunjukkan pengukuran distorsi untuk tiap potongan spesimen pengelasan FCAW *preheat* 200° C dalam satuan *centimeter*.



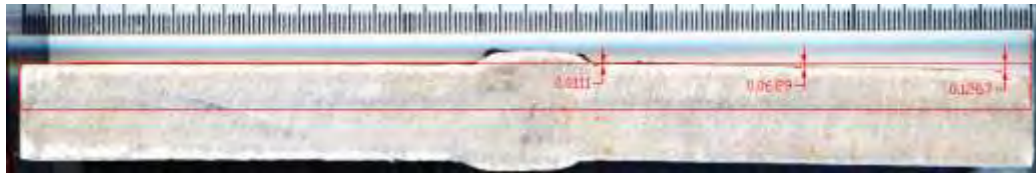
(a)



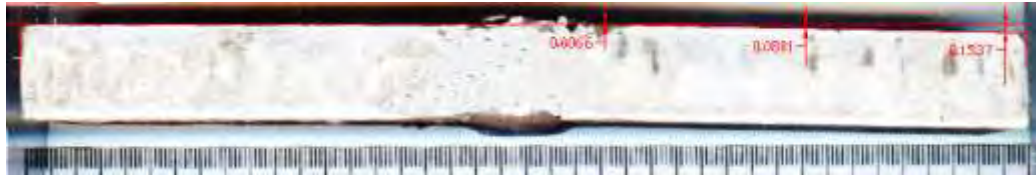
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.1. 10 Distorsi Pengelasan FCAW *preheat* 200° C pada Potongan 1(a) , Potongan 2 (b) , Potongan 3 (c) , Potongan 4 (d), dan Potongan 5 (e)

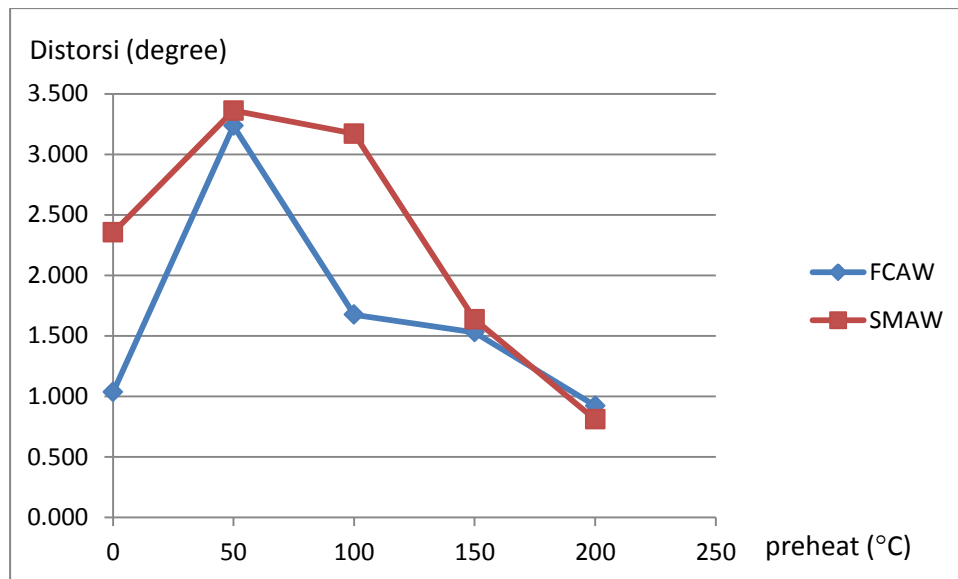
Berikut ini pada tabel 12 merupakan rekapitulasi dari pengukuran pada lima potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 200° C seperti yang dijelaskan pada bab 3.

Tabel 13 Rekapitulasi Pengukuran Distorsi Pengelasan FCAW *preheat* 200° C

No.	AA' (cm)	CC' (cm)	EE' (cm)	AE (cm)	AC (cm)	U1	U2	U1/AE	U2/AC	Distorsi (rad)	Distorsi (°)
1	0.134	0.066	0.004	8	4	0.130	0.062	0.016	0.016	0.016	0.911
2	0.132	0.076	0.020	8	4	0.111	0.056	0.014	0.014	0.014	0.797
3	0.166	0.099	0.032	8	4	0.134	0.067	0.017	0.017	0.017	0.956
4	0.127	0.069	0.011	8	4	0.116	0.058	0.014	0.014	0.014	0.828
5	0.154	0.080	0.000	8	4	0.153	0.080	0.019	0.020	0.020	1.121
MEAN										0.923	

Tabel 14 Rekapitulasi Distorsi pada SMAW dan FCAW

<i>preheat</i>	SMAW (°)	FCAW (°)	SMAW- FCAW
tanpa <i>preheat</i>	2.354	1.035	1.320
50° C	3.360	3.235	0.125
100° C	3.170	1.675	1.494
150° C	1.637	1.529	0.108
200° C	0.810	0.923	-0.112



Gambar 4.1.11 Grafik korelasi antara *preheat* dan distorsi

Dari parameter pengelasan bisa didapatkan *heat input* yang diterima benda kerja dengan menggunakan rumus *Heat input* (Kj/mm) = (Arus (I) x Tegangan (V) x 60 x efisiensi) / (Travel Speed (TS) x 1000). Dengan rumus tersebut didapatkan *Heat input* rata-rata dari proses pengelasan SMAW seperti dibawah ini.

Pengelasan	Heat Input (Kj/mm)	
	Bawah	Atas
<b>SMAW</b>	1.035	1.296
<b>FCAW</b>	0.987	1.102

Dalam gambar 4.1.11 dapat dilihat pada proses pengelasan SMAW maupun SMAW tanpa *preheat* distorsi yang terjadi lebih kecil dibandingkan pengelasan menggunakan *preheat* 50°C. Hal ini bisa terjadi karena perbedaan temperatur pada benda kerja tidak terlalu tinggi dikarenakan adanya panas yang masuk secara berulang pada setiap pass (*multipass Welding*) yang menyebabkan efek *preheat*. Distorsi yang terjadi pada pengelasan SMAW lebih tinggi dibandingkan FCAW dikarenakan *heat input* dari SMAW lebih tinggi daripada FCAW.

Distorsi tertinggi terjadi pada SMAW dengan *preheat* 50 °C dan yang kedua adalah FCAW dengan *preheat* 50 °C. Distorsi tersebut terus menurun sampai *preheat* 200 °C. penurunan distorsi yang paling curam adalah antara *preheat* 50 °C dan 100 °C pada SMAW dengan besar penurunan 1.56°. Sedangkan penurunan distorsi pada SMAW terbesar terjadi antara *preheat* 100 °C dan 150 °C sebesar 1.53°. Titik penurunan antara

SMAW dan FCAW berbeda karena adanya perbedaan heat input dimana heat input dari SMAW lebih tinggi sehingga memerlukan *preheat* yang lebih tinggi pula. Sedangkan pada *preheat* 200°C distorsi yang terjadi antara SMAW dan FCAW hampir sama karena gradien temperatur pada saat tersebut sudah tidak terlalu tinggi. Tabel 14 menunjukkan selisih distorsi yang terjadi. Sedangkan pada tabel 15 menunjukkan selisih distorsi antara SMAW dan FCAW.

Tabel 15 Selisih distorsi antar temperatur *preheat*

Temperatur <i>preheat</i>	SMAW	FCAW
0 - 50° C	-1.006	-2.200
50° C - 100° C	0.190	1.559
100° C - 150° C	1.533	0.146
50° C - 200° C	0.827	0.607
0 - 200° C	1.544	0.112

Distorsi yang terjadi pada FCAW selalu berada dibawah SMAW mulai dari tanpa *preheat* (0°C) sampai 150 °C. Sedangkan pada suhu 200°C distorsi pada SMAW lebih kecil daripada FCAW, terjadi perpotongan grafik antara *preheat* 150° C dan 200° C. Selisih distorsi SMAW tanpa *preheat* dengan *preheat* 200°C terlihat mencolok sedangkan perbedaan pada FCAW sangat kecil.

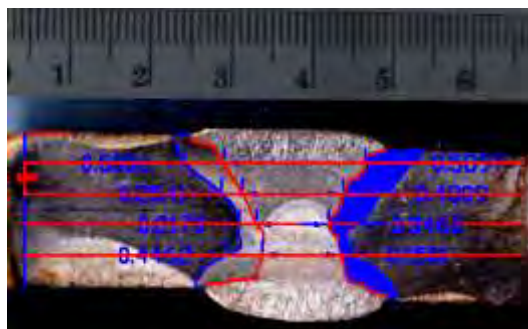
## 4.2 Pengujian Makro

Foto makro dilakukan untuk mengetahui bentuk dan batas antara logam las (*weld metal*), HAZ (*Heat Affected Zone*), logam induk (*base metal*). Berikut ini foto makro dari tiap-tiap spesimen:

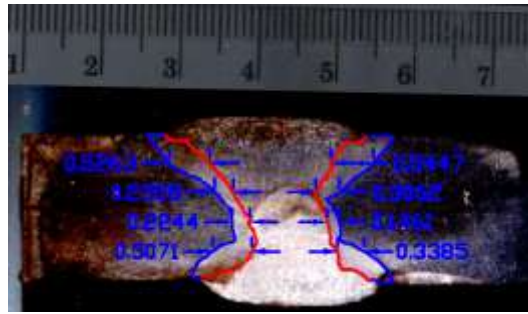
### 4.2.1 Lebar HAZ Pengelasan SMAW

#### A. Pengelasan SMAW Tanpa *preheat*

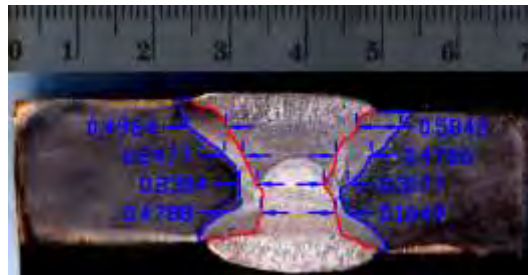
Gambar 4.2.1 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan SMAW tanpa *preheat* di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. 1 Foto Makro Pengelasan SMAW tanpa *preheat* pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 16 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan SMAW tanpa *preheat* seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 17 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada pengelasan SMAW tanpa *preheat*. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 16 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW tanpa *preheat*

<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
0	0.501	0.590	0.526	0.545	0.496	0.584
	0.254	0.481	0.236	0.306	0.248	0.477
	0.217	0.346	0.224	0.146	0.230	0.318
	0.446	0.150	0.507	0.339	0.479	0.165
rata-rata	0.373		0.354		0.375	

Tabel 17 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW tanpa *preheat*

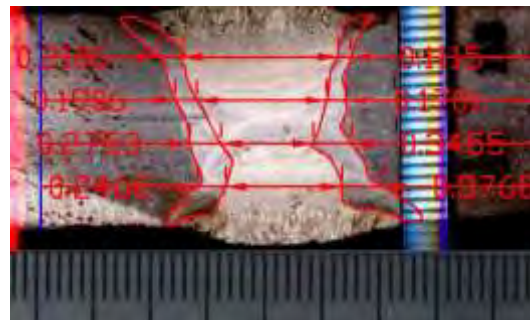
a	kiri	0.691
	kanan	0.685
b	kiri	0.660
	kanan	0.633
c	kiri	0.688
	kanan	0.713
rata-rata		0.678

B. Pengelasan SMAW *preheat* 50°

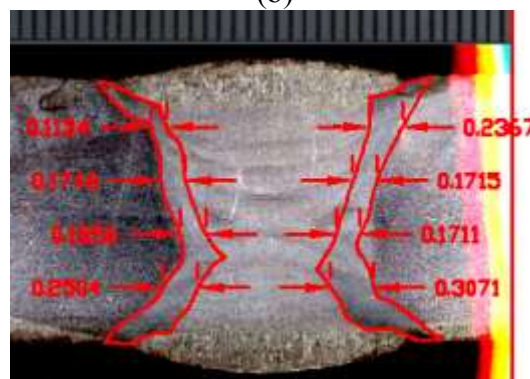
Gambar 4.2.2 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan SMAW *preheat* 50° di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. 2 Foto Makro Pengelasan SMAW *preheat* 50° C pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 18 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 50°C seperti yang dijelaskan pada



bab 3. Sedangkan pada tabel 19 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 50°C. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 18 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 50° C

<i>preheat</i>	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
50	0.173	0.387	0.307	0.250	0.307	0.250
	0.097	0.139	0.171	0.186	0.171	0.186
	0.137	0.192	0.172	0.175	0.172	0.175
	0.246	0.218	0.237	0.113	0.237	0.113
rata-rata	0.199		0.201		0.201	

Tabel 19 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW *preheat* 50° C

a	kiri	0.377
	kanan	0.401
b	kiri	0.466
	kanan	0.399
c	kiri	0.466
	kanan	0.466
rata-rata		0.429

### C. Pengelasan SMAW *preheat* 100° C

Gambar 4.2.3 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan SMAW *preheat* 100° di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan



(a)





(b)



(c)

Gambar 4.2. 3 Foto Makro Pengelasan SMAW *preheat* 100° C pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 20 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 100°C seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 21 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 100°C. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 20 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 100° C

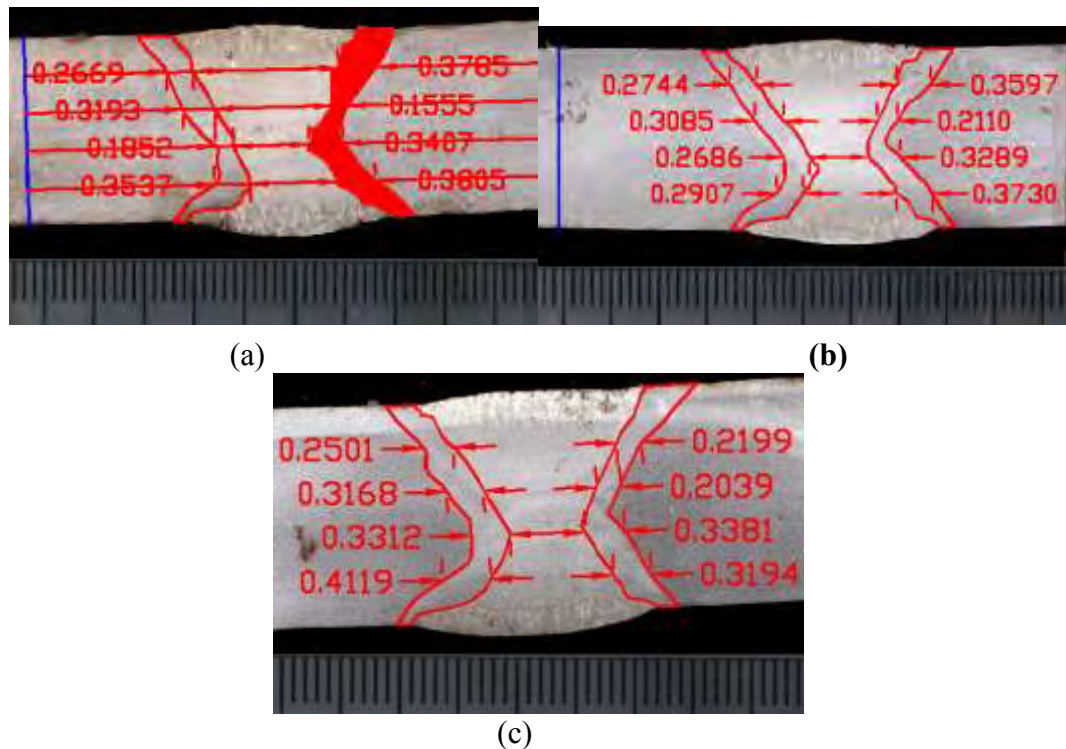
<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
100	0.185	0.413	0.180	0.325	0.195	0.146
	0.214	0.154	0.125	0.150	0.231	0.205
	0.215	0.221	0.258	0.229	0.334	0.168
	0.276	0.201	0.308	0.248	0.271	0.357
rata-rata	0.235		0.228		0.238	

Tabel 21 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW *preheat* 100° C

a	kiri	0.527
	kanan	0.459
b	kiri	0.455
	kanan	0.461
c	kiri	0.515
	kanan	0.410
rata-rata		0.471

D. Pengelasan SMAW *preheat* 150° C

Gambar 4.2.4 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan SMAW *preheat* 150° di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan



Gambar 4.2. 4 Foto Makro Pengelasan SMAW *preheat* 150° C pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 22 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 150°C seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 23 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 150°C. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 22 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 150° C

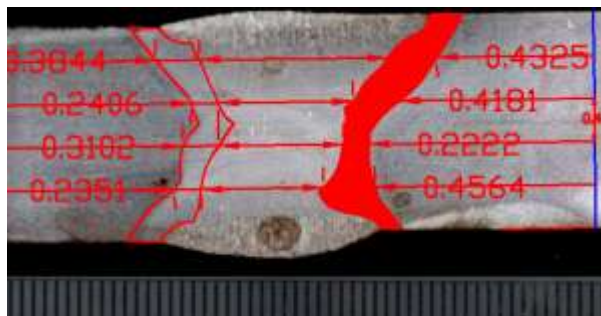
<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
150	0.267	0.379	0.274	0.360	0.250	0.220
	0.319	0.156	0.309	0.211	0.317	0.204
	0.185	0.341	0.269	0.329	0.331	0.338
	0.354	0.381	0.291	0.373	0.412	0.319
rata-rata	0.298		0.302		0.299	

Tabel 23 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW *preheat* 150° C

a	kiri	0.568
	kanan	0.581
b	kiri	0.569
	kanan	0.557
c	kiri	0.594
	kanan	0.535
rata-rata		0.567

#### E. Pengelasan SMAW *preheat* 200° C

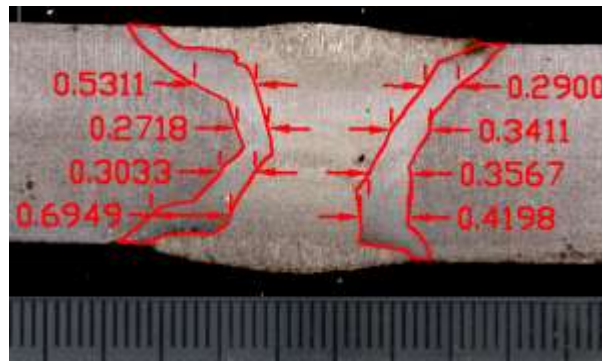
Gambar 4.2.5 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan SMAW *preheat* 200° di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. 5 Foto Makro Pengelasan SMAW *preheat* 200° C pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 24 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan SMAW *preheat* 200°C seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 25 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 200°C. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 24 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 200° C

<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
200	0.384	0.433	0.382	0.369	0.531	0.290
	0.241	0.418	0.261	0.271	0.272	0.341
	0.310	0.222	0.280	0.356	0.303	0.357
	0.235	0.456	0.414	0.422	0.695	0.420
rata-rata	0.337		0.344		0.401	

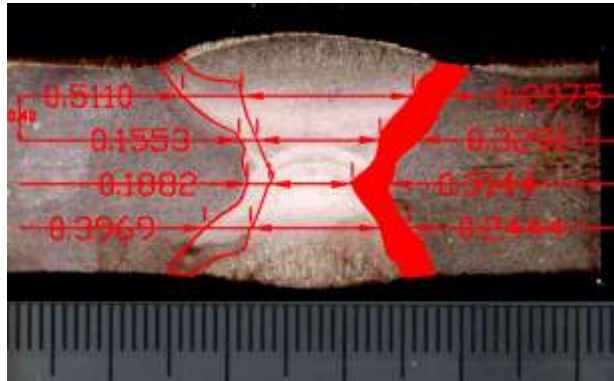
Tabel 25 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan SMAW *preheat* 200° C

a	kiri	0.583
	kanan	0.660
b	kiri	0.585
	kanan	0.661
c	kiri	0.790
	kanan	0.668
rata-rata		0.658

#### 4.2.2 Lebar HAZ Pengelasan FCAW

##### A. Pengelasan FCAW Tanpa *preheat*

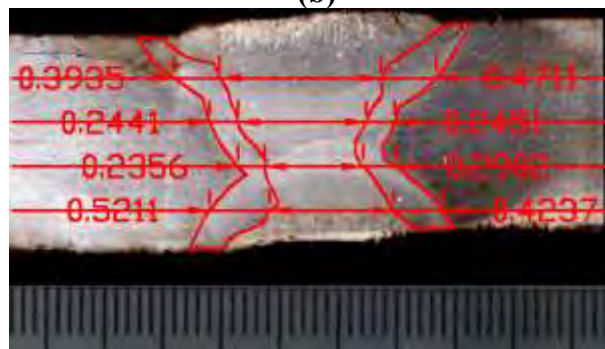
Gambar 4.2.6 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan FCAW tanpa *preheat* di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. 6 Foto Makro Pengelasan FCAW tanpa *preheat* pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 26 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan FCAW tanpa *preheat* seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 27 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada



pengelasan FCAW tanpa *preheat*. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 26 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW tanpa *preheat*

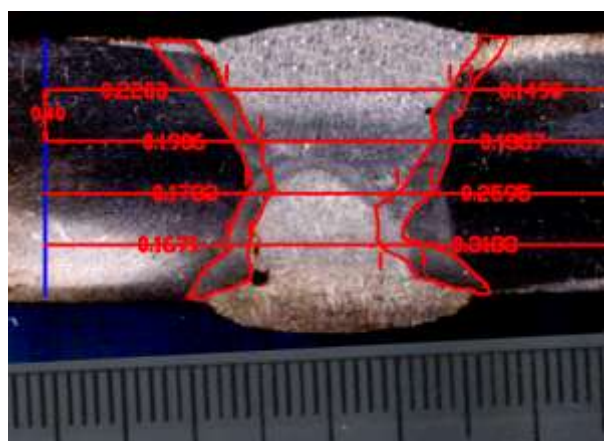
<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
0	0.511	0.298	0.301	0.603	0.394	0.471
	0.155	0.329	0.294	0.205	0.244	0.245
	0.188	0.314	0.135	0.240	0.236	0.290
	0.397	0.244	0.430	0.296	0.521	0.424
rata-rata	0.305		0.313		0.353	

Tabel 27 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan FCAW tanpa *preheat*

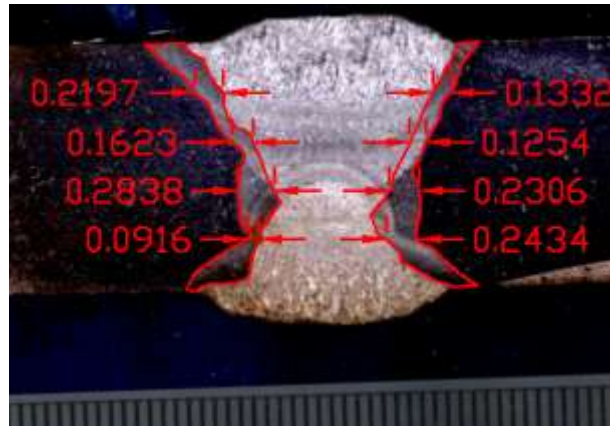
a	kiri	0.564
	kanan	0.524
b	kiri	0.577
	kanan	0.650
c	kiri	0.586
	kanan	0.604
rata-rata		0.584

#### B. Pengelasan FCAW *preheat* 50° C

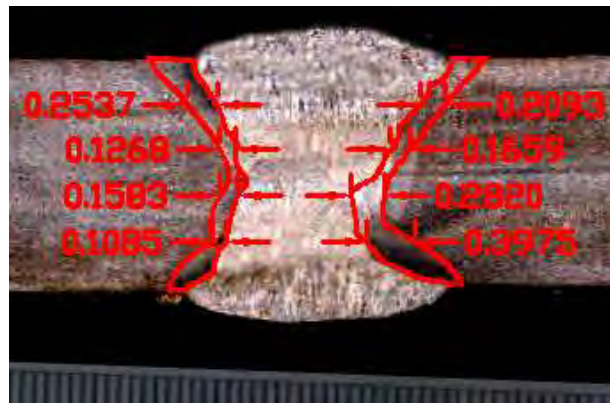
Gambar 4.2.7 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan FCAW *preheat* 50° di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. 7 Foto Makro Pengelasan FCAW *preheat* 50° C pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 28 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 50°C seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 29 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada pengelasan FCAW *preheat* 50°C. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 28 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW *preheat* 50° C

<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
50	0.220	0.149	0.220	0.133	0.254	0.209
	0.191	0.140	0.162	0.125	0.127	0.166
	0.178	0.260	0.284	0.231	0.158	0.282
	0.167	0.318	0.092	0.243	0.109	0.398
rata-rata	0.203		0.186		0.213	

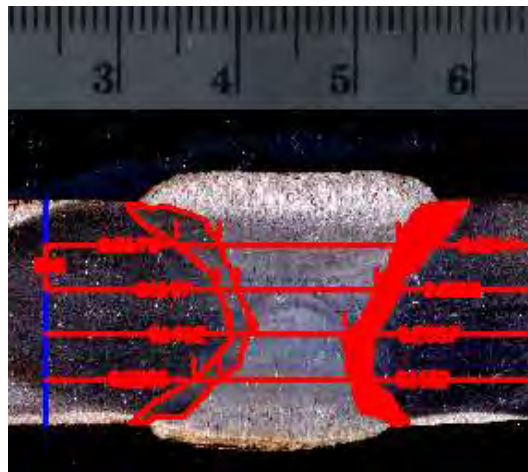


Tabel 29 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan FCAW *preheat* 50° C

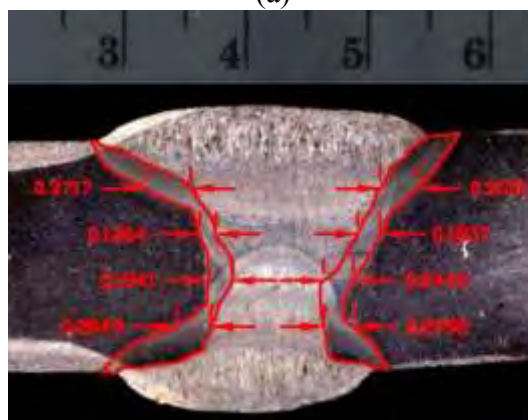
a	kiri	0.412
	kanan	0.430
b	kiri	0.413
	kanan	0.382
c	kiri	0.376
	kanan	0.484
rata-rata		0.416

C. Pengelasan FCAW *preheat* 100° C

Gambar 4.2.8 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan FCAW *preheat* 50° di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. 8 Foto Makro Pengelasan FCAW 100° C pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 30 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 100°C seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 31 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada pengelasan FCAW *preheat* 100°C. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 30 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW *preheat* 100° C

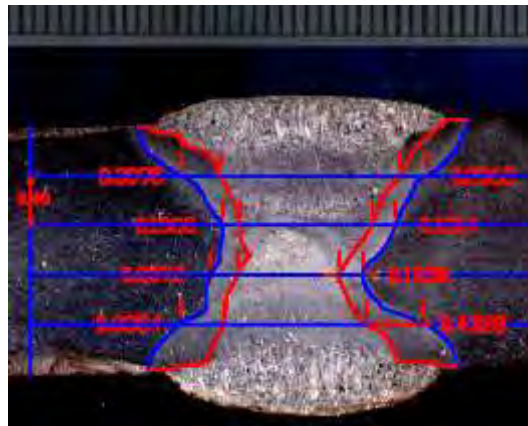
<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
100	0.368	0.304	0.372	0.311	0.324	0.259
	0.176	0.201	0.136	0.184	0.179	0.176
	0.146	0.237	0.194	0.244	0.280	0.189
	0.221	0.161	0.285	0.249	0.289	0.280
rata-rata	0.227		0.247		0.247	

Tabel 31 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan FCAW *preheat* 100° C

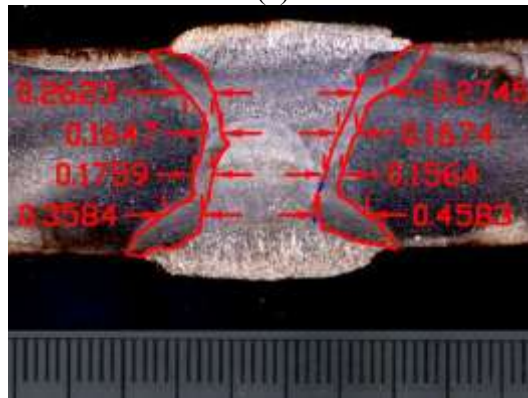
a	kiri	0.452
	kanan	0.441
b	kiri	0.474
	kanan	0.490
c	kiri	0.499
	kanan	0.472
rata-rata		0.471

D. Pengelasan FCAW *preheat* 150° C

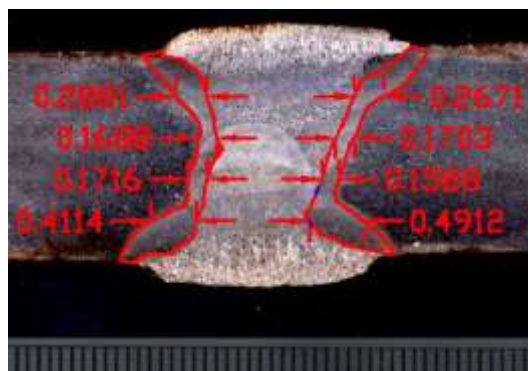
Gambar 4.2.9 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan FCAW *preheat* 150° di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. 9 Foto Makro Pengelasan FCAW *preheat* 150° C pada Potongan 2 (a)  
, Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 32 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 150°C seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 33 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada

pengelasan FCAW *preheat* 150°C. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Tabel 32 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW *preheat* 150° C

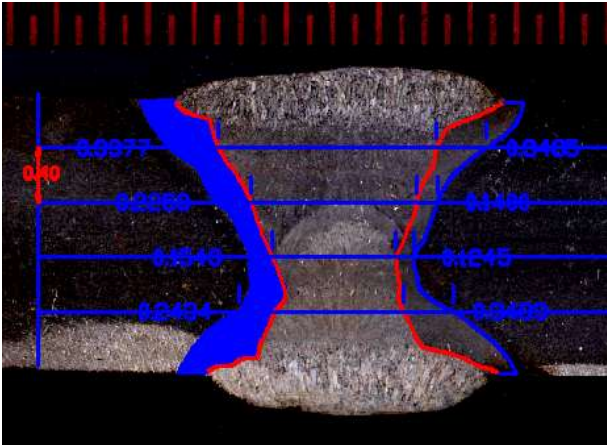
<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
150	0.310	0.206	0.262	0.275	0.288	0.267
	0.139	0.181	0.165	0.167	0.169	0.170
	0.207	0.186	0.176	0.156	0.172	0.159
	0.335	0.367	0.358	0.458	0.411	0.491
rata-rata	0.241		0.252		0.266	

Tabel 33 Rekapitulasi luas HAZ pengelasan FCAW *preheat* 150° C

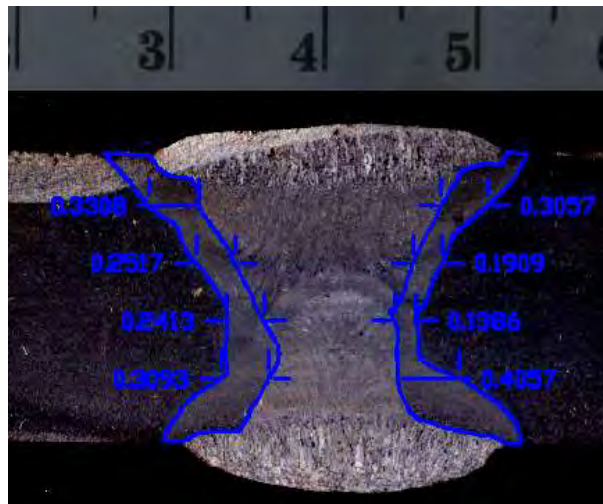
a	kiri	0.478
	kanan	0.495
b	kiri	0.491
	kanan	0.508
c	kiri	0.483
	kanan	0.494
rata-rata		0.491

E. Pengelasan FCAW *preheat* 200°

Gambar 4.2.6 adalah hasil dari makro etsa dari spesimen pengelasan FCAW *preheat* 50° di potongan 2, 3, dan 4 serta hasil pengukuran yang dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. 10 Foto Makro Pengelasan FCAW *preheat* 200° C pada Potongan 2 (a) , Potongan 3 (b) , Potongan 4 (c)

Berikut ini pada tabel 34 merupakan rekapitulasi dari pengukuran lebar HAZ pada tiga potongan specimen pengelasan FCAW *preheat* 50°C seperti yang dijelaskan pada bab 3. Sedangkan pada tabel 35 merupakan rekapitulasi pengukuran luas HAZ pada pengelasan FCAW *preheat* 50°C. Satuan yang digunakan untuk lebar adalah *centimeter* dan untuk luas adalah *centimeter*<sup>2</sup>.

Pada gambar 4.2.11 dapat dilihat hubungan lebar HAZ – temperatur *preheat* dan Luas HAZ – temperatur *preheat*. Pengelasan menggunakan SMAW tanpa *preheat* menghasilkan lebar dan luas HAZ yang paling besar diantara pengelasan lainnya dengan nilai 0.367 cm dan 0.678 cm<sup>2</sup>. Lebar dan luas HAZ dari pengelasan SMAW tanpa *preheat* melebihi nilai lebar dan luas dari pengelasan SMAW dengan temperatur *preheat* 200°C yang mendapatkan perlakuan *preheating*. Hal ini bisa terjadi karena tidak adanya

jeda pengelasan seperti perlakuan *preheating* yang menunggu temperatur turun seperti temperatur *preheat* awal (*interpass temperature*) sehingga HAZ menjadi lebar.

Tabel 34 Rekapitulasi lebar HAZ pada pengelasan FCAW *preheat* 200° C

<i>preheat</i> (°C)	a (cm)		b (cm)		c (cm)	
	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan
200	0.338	0.349	0.331	0.306	0.368	0.263
	0.226	0.140	0.252	0.191	0.210	0.160
	0.154	0.125	0.241	0.139	0.266	0.213
	0.243	0.348	0.309	0.406	0.323	0.513
rata-rata	0.240		0.272		0.290	

Tabel 35 Rekapitulasi luas HAZ pada pengelasan FCAW *preheat* 200° C

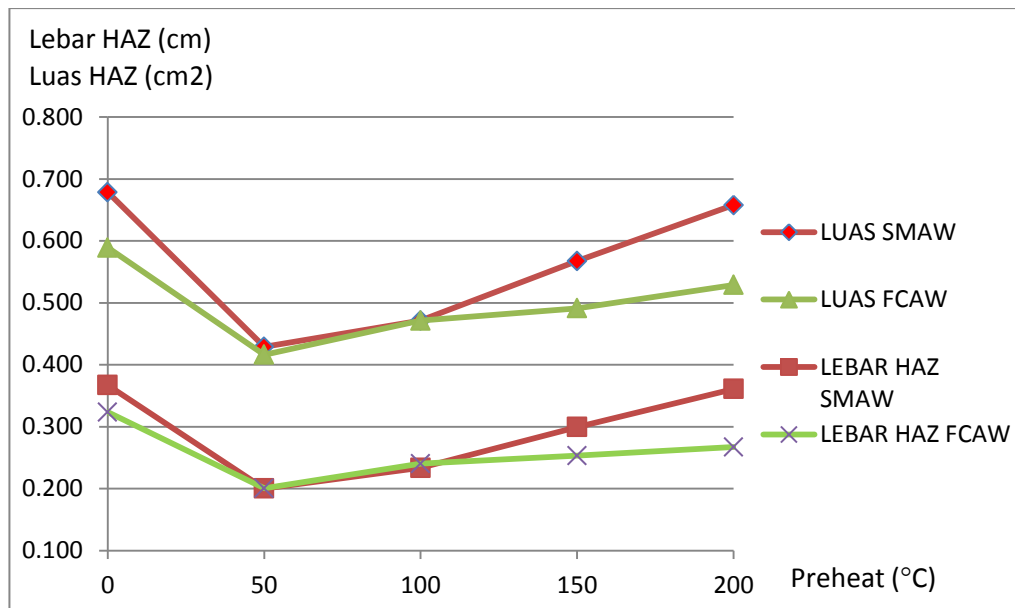
a	kiri	0.513
	kanan	0.465
b	kiri	0.581
	kanan	0.527
c	kiri	0.564
	kanan	0.523
rata-rata		0.529

Tabel 36 Rekapitulasi lebar dan luas HAZ

<i>Preheat</i> (oC)	SMAW		FCAW		SMAW - FCAW	
	Lebar (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Lebar (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Lebar (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )
0	0.367	0.678	0.324	0.589	0.044	0.089
50	0.200	0.429	0.201	0.416	0.000	0.013
100	0.234	0.471	0.240	0.471	-0.007	0.000
150	0.299	0.567	0.253	0.491	0.046	0.076
200	0.361	0.658	0.267	0.529	0.094	0.129

Lebar HAZ FCAW terendah pada pengelasan dengan *preheat* 50°C dan terus bertambah sampai temperatur *preheat* 200°C. Pada pengelasan SMAW tanpa *preheat* memiliki nilai lebar dan luas hampir sama dengan pengelasan SMAW *preheat* 200°C. Lebar HAZ SMAW lebih besar dibandingkan FCAW dikarenakan heat input dari pengelasan SMAW yang lebih besar.





Gambar 4.2. 11 Grafik hubungan lebar dan luas HAZ terhadap temperatur *preheat*

Tabel 37 Selisih luas dan lebar antara temperatur *preheat* dan jenis pengelasan

<i>Preheat</i> (oC)	SMAW		FCAW		SMAW - FCAW	
	Lebar (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Lebar (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Lebar (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )
0 - 50° C	0.167	0.249	0.123	0.173	0.044	0.077
50° C - 100° C	-0.033	-0.042	-0.040	-0.055	0.006	0.013
100° C - 150° C	-0.066	-0.096	-0.013	-0.020	-0.053	-0.076
50° C - 200° C	-0.061	-0.090	-0.014	-0.038	-0.047	-0.053
0 - 200° C	0.006	0.021	0.056	0.060	-0.050	-0.040

Pada tabel 36 menunjukkan selisih antar temperatur *preheat* dan selisih antar jenis pengelasan. Lebar dan luas HAZ pada pengelasan SMAW *preheat* 50°C dan 100°C hampir sama dengan pengelasan FCAW *preheat* 50°C dan 100°C dengan selisih rata-rata hanya 0.1 mm dan 0.6 mm untuk lebar sedangkan untuk luas selisihnya adalah 9.7 mm<sup>2</sup> dan 11.6 mm<sup>2</sup>. Selisih terbesar adalah pada saat *preheat* 100°C dan 150°C untuk untuk pengelasan SMAW sebesar 0.066 cm untuk lebar dan 0.096 cm<sup>2</sup> untuk luas. Sedangkan untuk FCAW pada saat *preheat* 50°C dan 100°C sebesar 0.04 cm untuk lebar dan 0.055 untuk luas.

### 4.3 Struktur Mikro

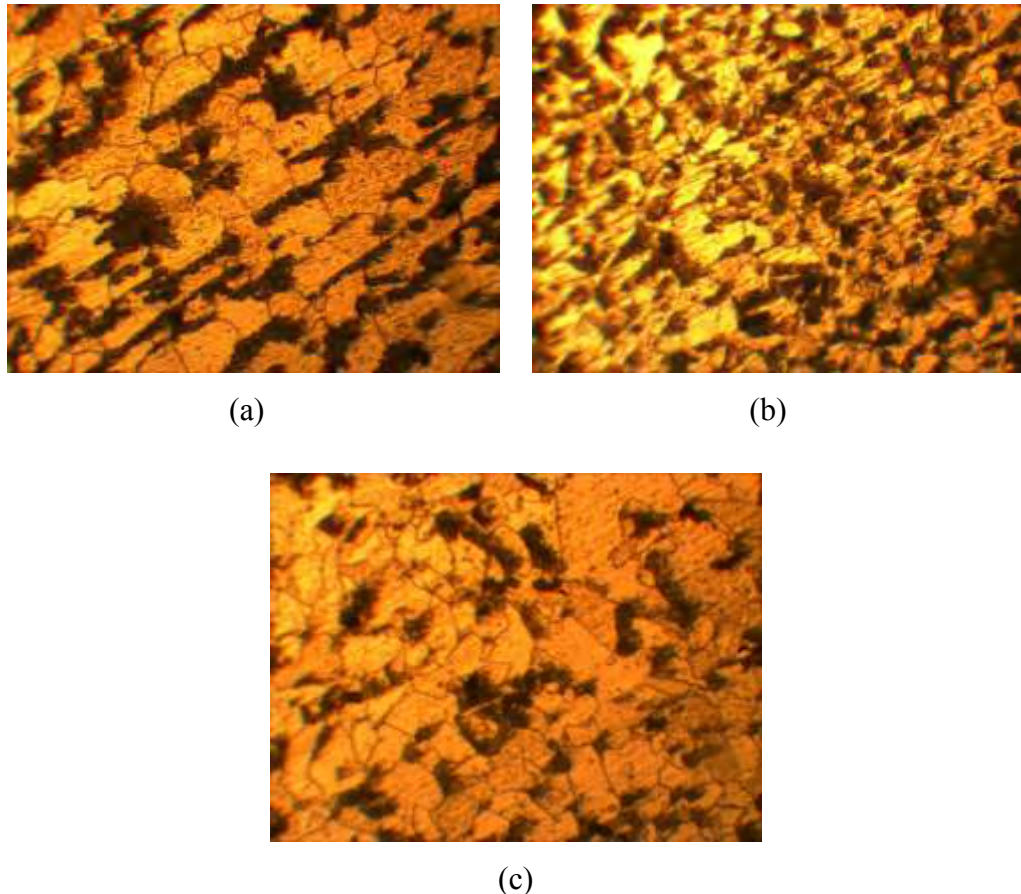
Struktur mikro sangat berkaitan dengan sifat mekanis baja. Terdapat perbedaan antara sifat-sifat mekanis terutama karena banyaknya karbon di dalam baja. Hal ini tidak hanya disebabkan kadar karbon melainkan cara mengadakan ikatan dengan besi yang dapat



mempengaruhi sifat baja. Baja yang didinginkan secara lambat menuju suhu ruangan dibedakan menjadi tiga bentuk utama struktur mikro : *ferrite*, *cementite* dan *pearlite*. (Schonmetz, 1985). Berikut ini adalah hasil dari foto mikro di weld metal, HAZ dan base metal.

#### 4.3.1 Pengelasan SMAW

##### A. SMAW Tanpa *Preheat*



Gambar 4.3.1 Foto mikro pengelasan SMAW tanpa *preheat* perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Pada gambar 4.3.1 dapat dilihat struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. Pada hasil pengelasan SMAW tanpa *preheat*. Strukturnya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).

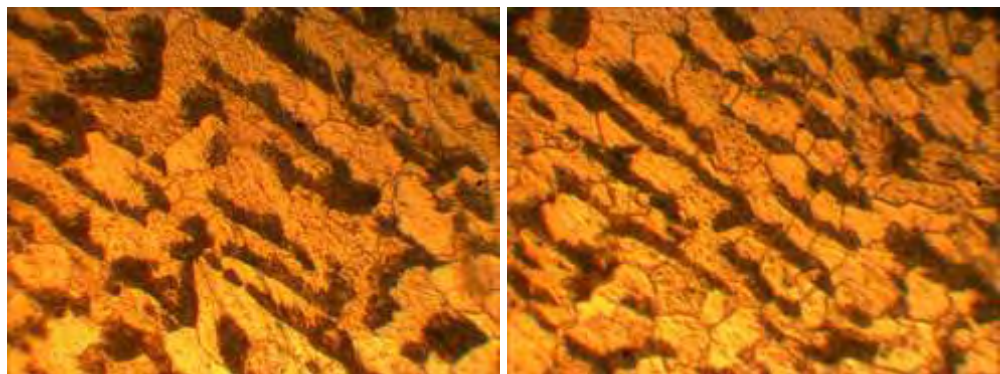
Tabel 38 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada SMAW tanpa *preheat*

HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	
136959	177969	103047	211881	122412	192516	314928

Butir pada weld metal lebih besar daripada di HAZ. Pada weld metal butirannya memiliki perbedaan lebar yang signifikan. Hal yang berbeda pada struktur mikro base metal yaitu memiliki butir dengan perbedaan lebar yang tidak signifikan. Pada base metal dan weld metal butirannya berupa *fine grain* (halus) sedangkan pada HAZ berupa *coarse grain* (kasar).

Pada tabel 38 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Pada daerah weld metal persebaran *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) terlihat terkonsentrasi pada beberapa titik. Sedangkan pada HAZ *cementite* tersebar dengan ukuran yang lebih besar daripada weld metal.

#### B. SMAW *Preheat* 50° C



(a)

(b)



(c)

Gambar 4.3.2 Foto mikro pengelasan SMAW *preheat* 50° C perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Pada gambar 4.3.2 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan SMAW dengan temperatur *preheat* 50°C. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).

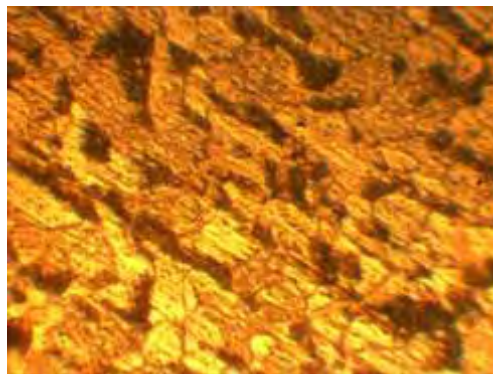
Tabel 39 Penyebaran *cementite* dan *ferrite* pada SMAW *preheat* 50°C

HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	
111672	203256	101509	213419	109798	205130	314928

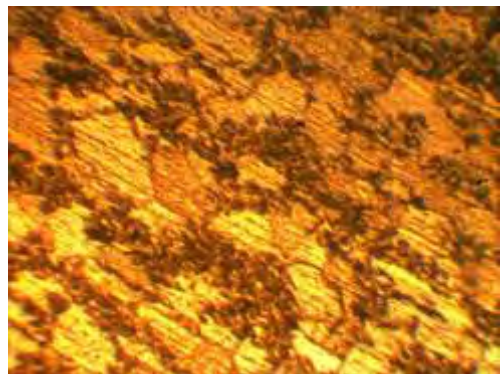
Pada tabel 39 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan *ferrite* pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas *ferrite* pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada HAZ lebih besar daripada butir weld metal. Pada weld metal butirannya berupa *coarse grain* (kasar) sedangkan pada HAZ berupa *fine grain* (halus). Pada daerah HAZ persebaran *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang membentuk *pearlite* terlihat terkonsentrasi pada beberapa titik berukuran besar. Sedangkan pada weld metal *cementite* tersebar pada hampir semua daerah di batas butir *ferrite*.

#### C. SMAW *Preheat* 100° C

Pada gambar 4.3.3 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan SMAW dengan temperatur *preheat* 100°C. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).

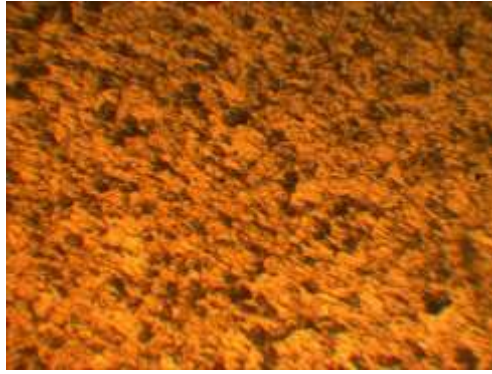


(a)



(b)





(c)

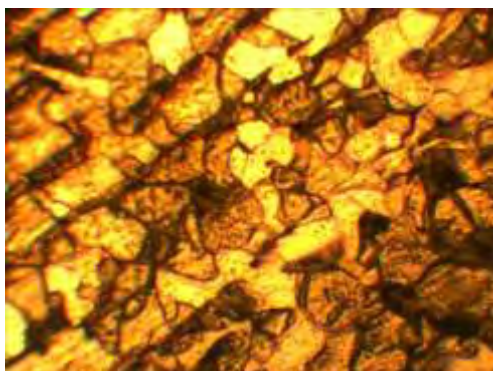
Gambar 4.3.3 Foto mikro pengelasan SMAW *preheat* 100° C perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Tabel 40 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada SMAW *preheat* 100°C

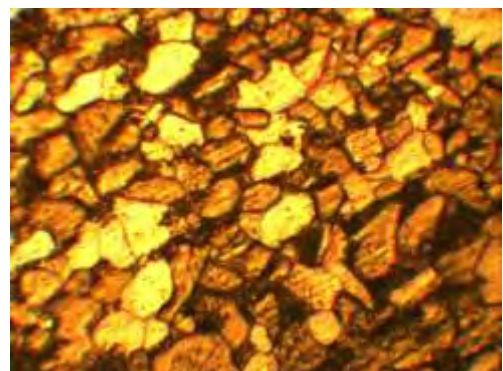
HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	
119047	195881	115252	199676	105701	209227	314928

Pada tabel 40 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada HAZ lebih besar daripada butir weld metal. Pada weld metal butirannya berupa *coarse grain* (kasar) dengan butir kecil. Sedangkan pada HAZ berupa *coarse grain* (kasar) dengan butir besar. Pada daerah HAZ *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) berukuran kecil berkumpul membentuk kumpulan *cementite*. Sedangkan pada weld metal *cementite* berukuran kecil tersebar pada hampir semua daerah.

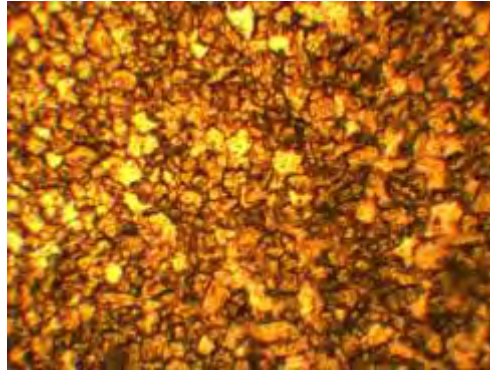
#### D. SMAW *Preheat* 150° C



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3.4 Foto mikro pengelasan SMAW *preheat* 150° C perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Pada gambar 4.3.4 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan SMAW dengan temperatur *preheat* 150°C. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).

Tabel 41 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada SMAW *preheat* 150°C

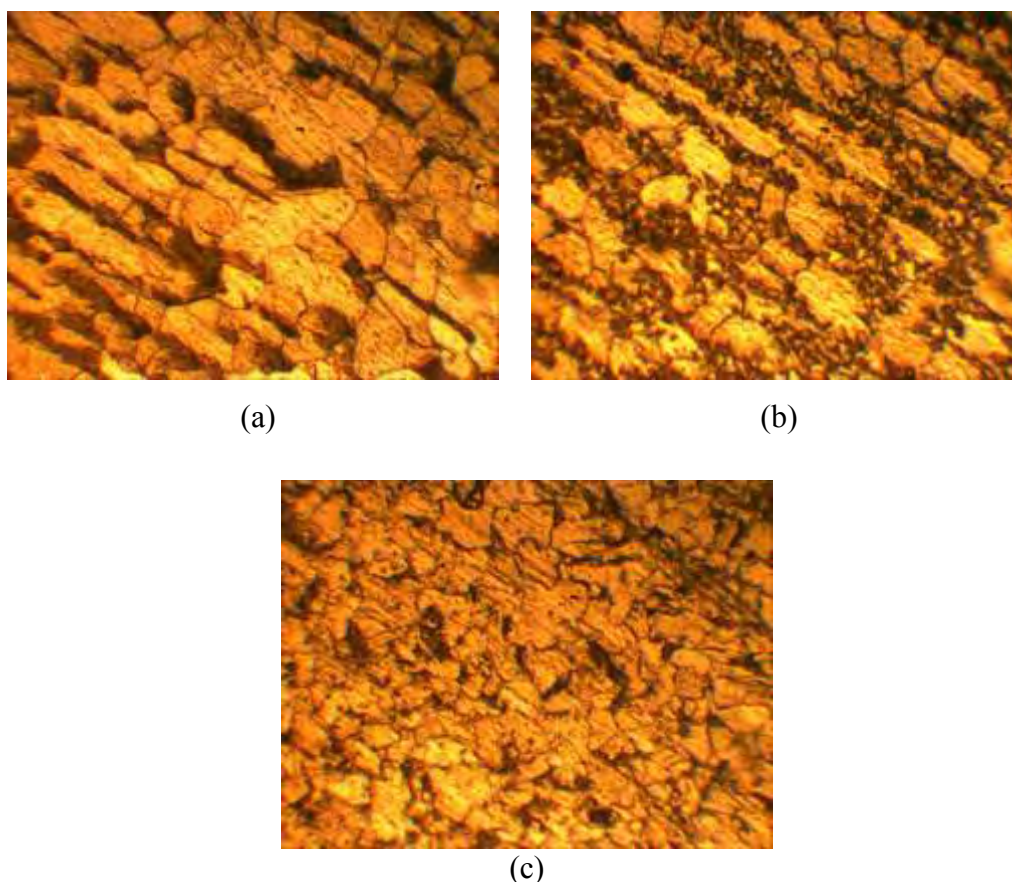
HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	
145696	169232	145318	169610	107575	207353	314928

Pada tabel 41 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada HAZ lebih besar daripada butir weld metal. Pada weld metal butirannya berupa *coarse grain* (kasar) sedangkan pada HAZ berupa *fine grain* (halus). Pada daerah HAZ persebaran *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) berada diantara butiran *ferrite* (batas butir) dan tersebar secara tipis pada ferrite membentuk *cementite*. Sedangkan pada weld metal *cementite* tersebar pada batas butir ferrite.

#### E. SMAW *Preheat* 200° C

Pada gambar 4.3.5 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan SMAW dengan temperatur *preheat* 200°C. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari

*ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).



Gambar 4.3.5 Foto mikro pengelasan SMAW *preheat* 200° C perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Tabel 42 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada SMAW *preheat* 200°C

HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	
116225	198703	100914	214014	105804	209124	314928

Pada tabel 42 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada HAZ hampir sama besar dengan butir weld metal tetapi pada HAZ terdapat *ferrite* dengan butir kecil diantara *ferrite* yang butirnya besar Pada weld metal dan HAZ butirannya berupa *coarse grain* (kasar). Pada daerah HAZ persebaran *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) berada diantara butiran *ferrite* kecil. Sedangkan pada weld metal *cementite* tersebar di antara batas butir *ferrite*.

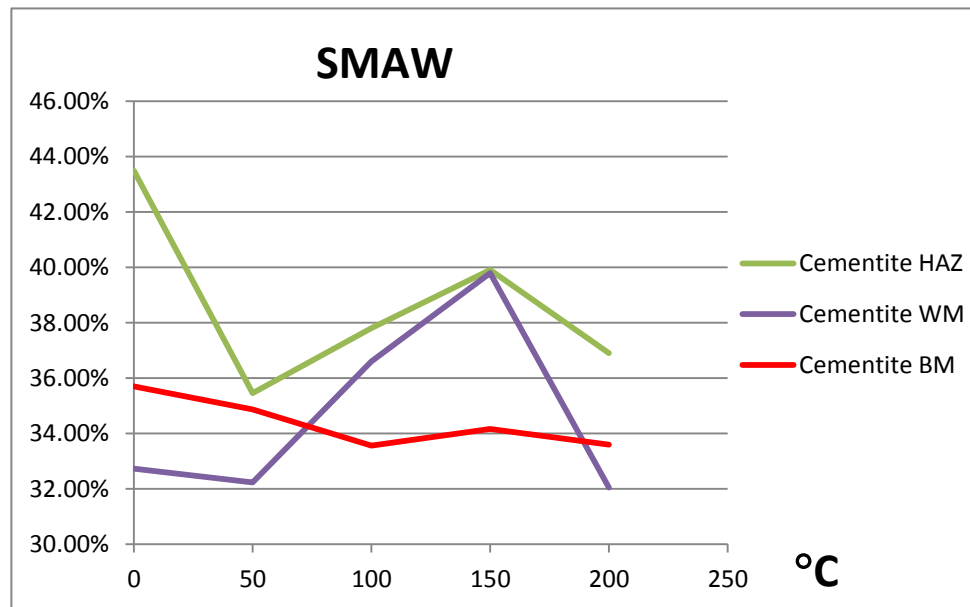


Tabel 43 Rekapitulasi penyebaran *cementite* dan ferrite pada SMAW

° <i>preheat</i>	HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas
	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	
0	43.49%	56.51%	32.72%	67.28%	35.69%	64.31%	100%
50	35.46%	64.54%	32.23%	67.77%	34.86%	65.14%	100%
100	37.80%	62.20%	36.60%	63.40%	33.56%	66.44%	100%
150	39.91%	60.09%	39.79%	60.21%	34.16%	65.84%	100%
200	36.91%	63.09%	32.04%	67.96%	33.60%	66.40%	100%

Pada tabel 43 dapat dilihat hasil rekapitulasi penyebaran *cementite* dan ferrite pada setiap temperatur *preheat*. *Cementite* pada HAZ paling banyak terjadi pada pengelasan tanpa *preheat*. Sedangkan pada weld metal adalah pada saat pengelasan dengan *preheat* 150°C. Pada base metal penyebaran *cementite* relatif sama karena materialnya sama dan tidak mendapatkan perlakuan panas.

Pada Gambar 4.3.6 dapat dilihat grafik hasil rekapitulasi penyebaran *cementite* pada daerah HAZ, base metal, dan weld metal. Persebaran *cementite* pada base metal relatif sama karena base metal tidak mengalami heat treatment. Persebaran *cementite* pada HAZ yang tidak dilakukan *preheat* adalah yang tertinggi. Pada saat ini *cementite* tersebar secara tebal pada ferrite. Setelah itu terjadin penurunan pada *preheat* 50 °C dan kemudian naik sampai 150 °C lalu turun lagi. Begitu juga pada weld metal memiliki tren yang sama dengan HAZ.



Gambar 4.3. 6 Grafik rekapitulasi penyebaran *cementite* SMAW

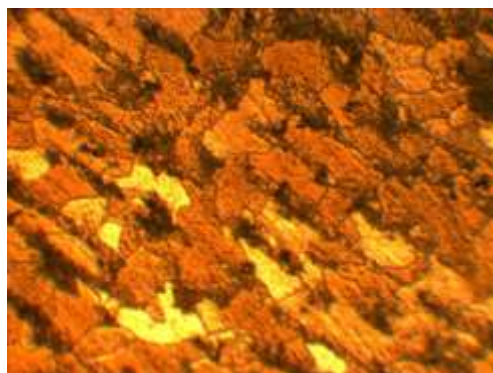
Penurunan yang terjadi antara pengelasan tanpa *preheat* dan *preheat* 50°C tidak berlanjut karena *cementite* pada pengelasan 100°C *cementite* sudah mulai

tersebar. Hal ini menyebabkan penyebaran dari *cementite* lebih besar dari *preheat* dibawahnya. Hal ini berlanjut sampai *preheat* 150°C setelah itu *cementite* kembali berkumpul pada *preheat* 200°C. Hal ini disebabkan karena *preheat* yang diberikan menurunkan gradient panas sehingga penurunan panas yang terjadi tidak terlalu cepat. *Preheat* yang terlalu tinggi menyebabkan *cementite* tidak lagi tersebar pada permukaan ferrite.

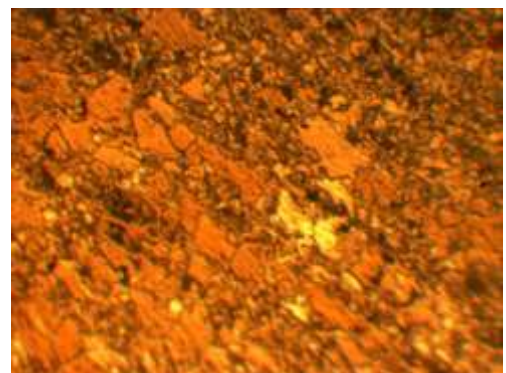
Hasil terbaik pada HAZ adalah pada saat *preheat* 150°C, *cementite* (39.91%) tersebar halus pada ferrite (membentuk pearlite) dan batas butir ferrite. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan mekanik. Sedangkan Hasil terbaik pada weld metal adalah pada pengelasan dengan *preheat* 200°C. Pada saat tersebut butir ferrite terlihat lebih besar dari *preheat* dibawahnya dan *cementite* (32.04%) tersebar pada batas butir *ferrite*.

Dari kelima spesimen yang telah diuji didapat kesimpulan struktur *fine grain* pada HAZ terjadi pada pemanasan dengan suhu 50°C, 100 °C dan 150°C. selain itu memiliki struktur *coarse grain*. Semakin besar suhu *preheat* membuat *cementite* semakin tersebar kemudian membentuk *pearlite*. Sedangkan pada weld metal dari semua temperatur *preheat* mempunyai struktur *coarse grain* kecuali pada spesimen yang tidak dilakukan *preheat* mempunyai struktur *fine grain*. Butir terbesar weld metal terlihat jelas pada pengelasan tanpa *preheat*. Akan tetapi pada pengelasan tanpa *preheat* ukuran butir pada HAZ lebih kecil dibandingkan pengelasan menggunakan *preheat*.  
Pengelasan FCAW

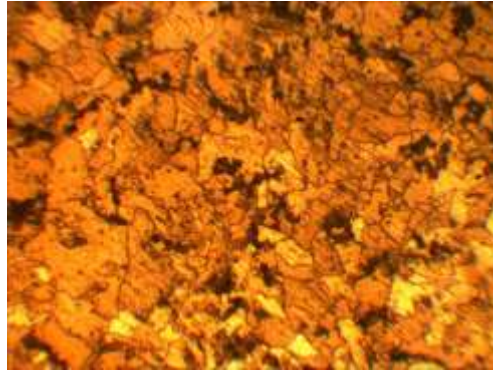
#### A. FCAW Tanpa *Preheat*



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3.7 Foto mikro pengelasan FCAW tanpa *preheat* perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Pada gambar 4.3.7 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan FCAW dengan tanpa *preheat*. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).

Tabel 44 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada FCAW tanpa *preheat*

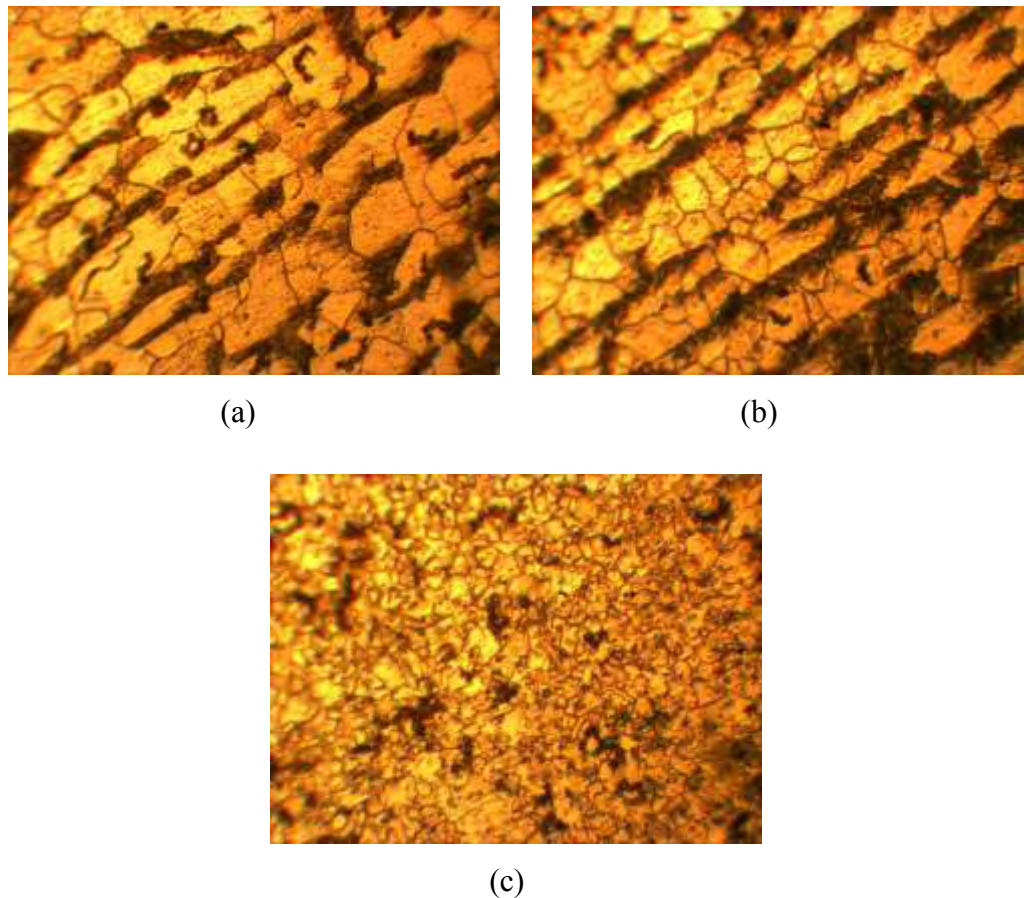
HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	
143583.9	171344.1	100127	214801	103730	211198	314928

Pada tabel 44 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada HAZ lebih kecil daripada butir weld metal. Pada weld metal dan HAZ butirannya berupa *coarse grain* (kasar). Pada daerah HAZ persebaran *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) berada diantara butiran *ferrite*. Sedangkan pada weld metal *cementite* tersebar pada daerah tertentu dengan ukuran yang besar.

#### B. FCAW *Preheat* 50° C

Pada gambar 4.3.8 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan FCAW dengan *preheat* 50° C. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga

*cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).



Gambar 4.3.8 Foto mikro pengelasan FCAW *preheat* 50° C perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Tabel 45 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada FCAW *preheat* 50°C

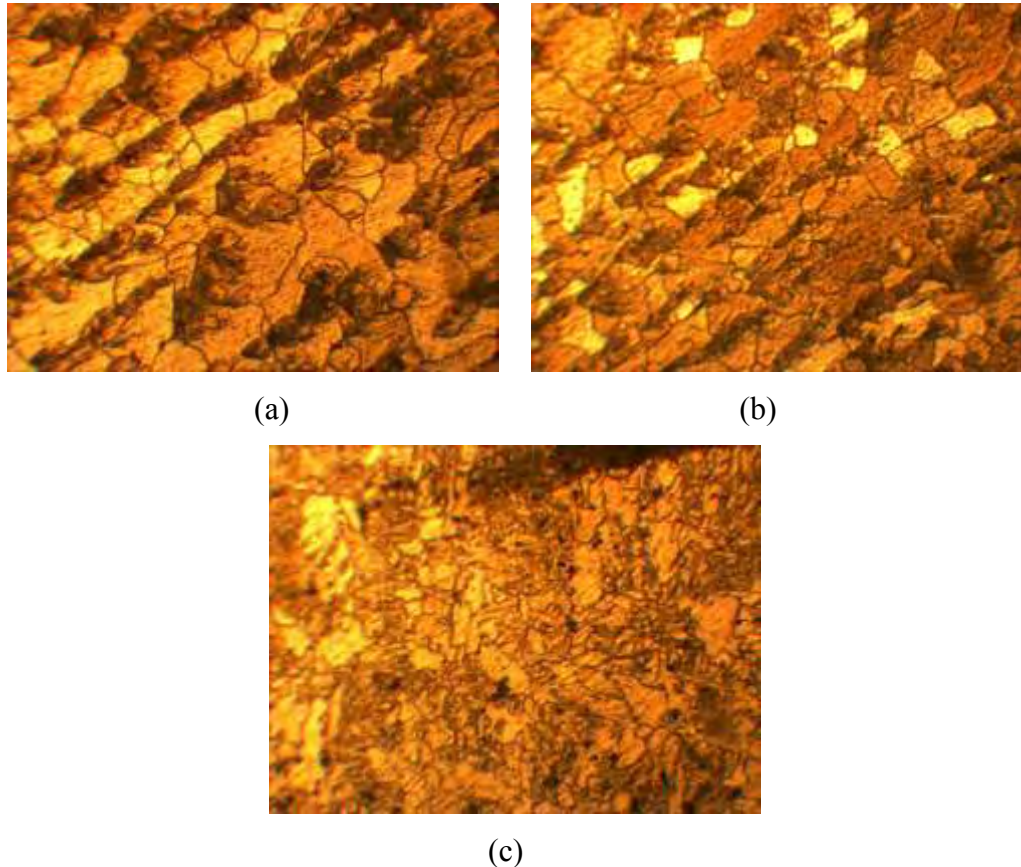
HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	
127597	187331	105390	209538	108011	206917	314928

Pada tabel 45 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada weld metal lebih kecil daripada HAZ. Pada weld metal butirannya berupa *coarse grain* (kasar). Sedangkan pada HAZ butirannya berupa *fine grain* (halus). Pada daerah HAZ persebaran *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dengan ukuran besar seperti pada base metal. Sedangkan pada weld metal *cementite* tersebar pada daerah tertentu dengan ukuran yang besar dan diantara butir *ferrite*.



### C. FCAW *Preheat* 100° C

Pada gambar 4.3.9 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan FCAW dengan *preheat* 100° C. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).



Gambar 4.3.9 Foto mikro pengelasan FCAW *preheat* 100° C perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

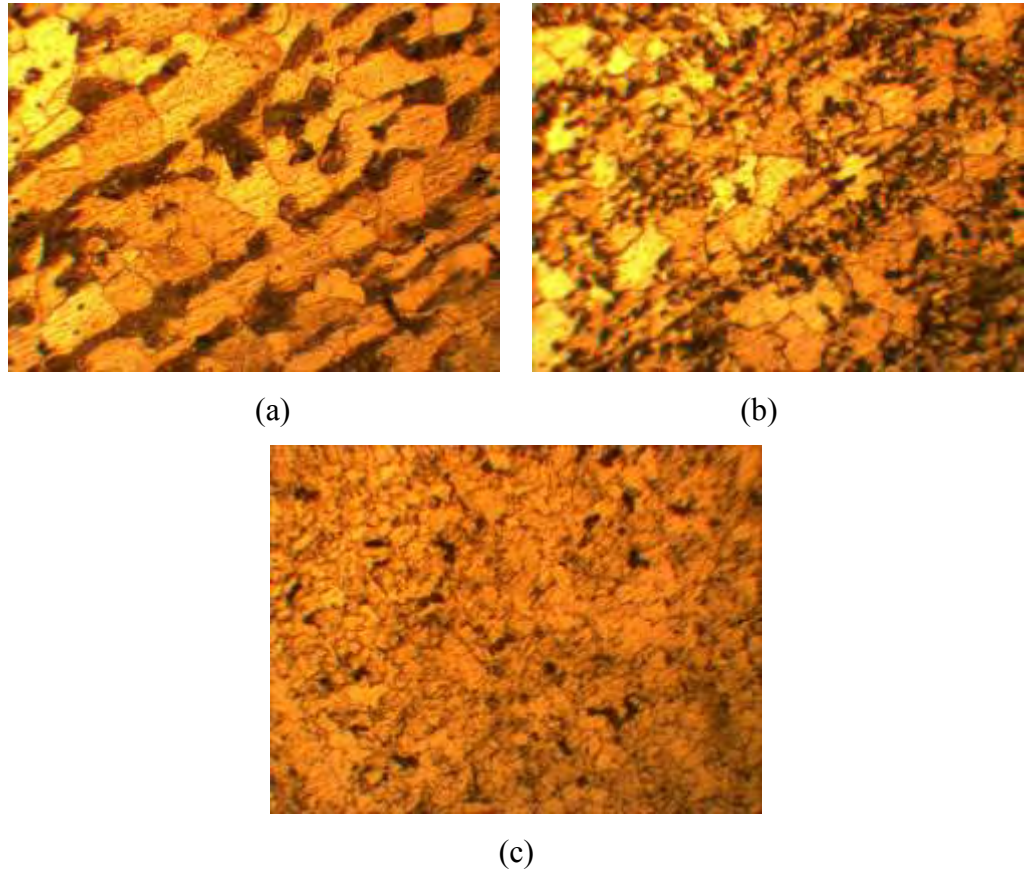
Tabel 46 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada FCAW *preheat* 100°C

HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	
118967	195961	113162	201766	107221	207707	314928

Pada tabel 46 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada weld metal lebih kecil daripada HAZ. Pada weld metal butirannya berupa *coarse grain* (kasar). Sedangkan pada HAZ butirannya berupa *fine grain* (halus). Pada daerah HAZ persebaran

*cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) berukuran besar seperti pada base metal tetapi lebih tipis. Sedangkan pada weld metal *cementite* tersebar pada daerah tertentu pada butir *ferrite*.

#### D. FCAW *Preheat* 150° C



Gambar 4.3.10 Foto mikro pengelasan FCAW *preheat* 150° C perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Pada gambar 4.3.9 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan FCAW dengan *preheat* 150° C. Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).

Tabel 47 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada FCAW *preheat* 150°C

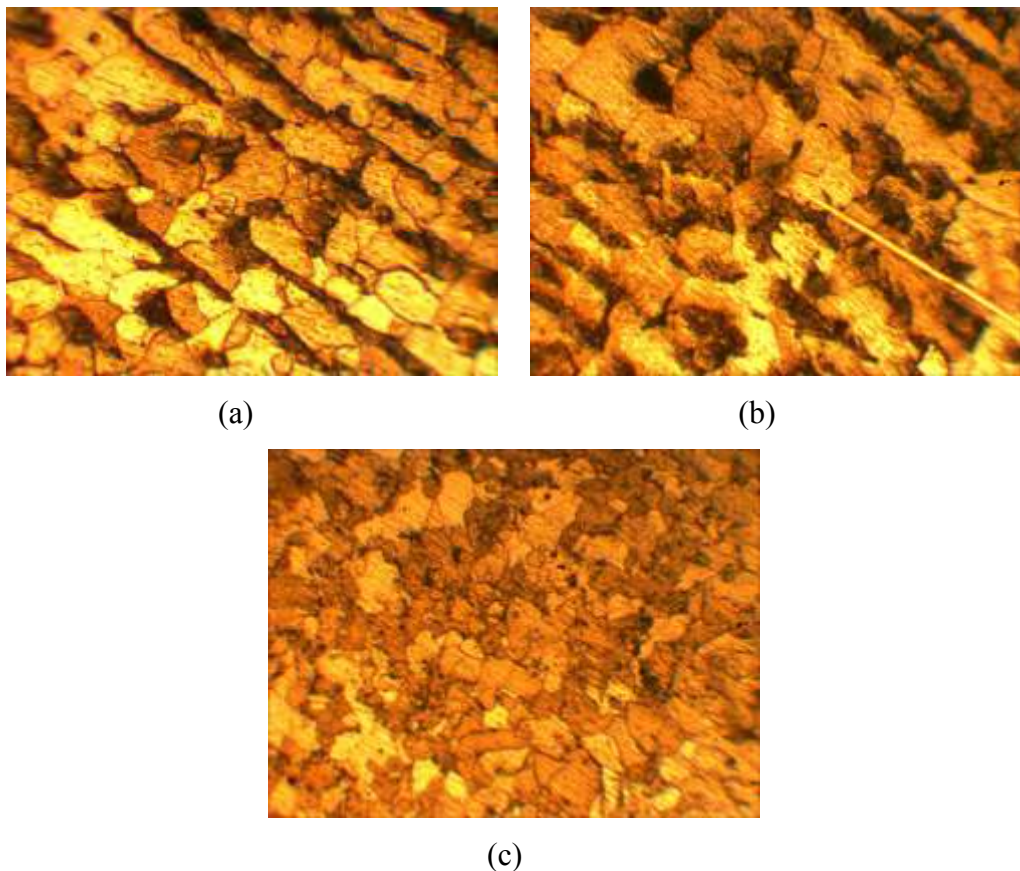
HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	<i>cementite</i>	<i>ferrite</i>	
119218	195710	89571	225357	102283	212645	314928



Pada tabel 47 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada weld metal lebih kecil daripada HAZ. Pada weld metal butirannya berupa *coarse grain* (kasar). Sedangkan pada HAZ butirannya berupa *fine grain* (halus). Pada daerah HAZ persebaran *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) berukuran kecil yang berkelompok seperti pada base metal tetapi renggang. Kerenggangan ini lebih besar dibandingkan pada *preheat*  $100^\circ\text{C}$  Sedangkan pada weld metal *cementite* tersebar pada daerah tertentu pada butir *ferrite*, lebih merata daripada *preheat*  $100^\circ\text{C}$ .

#### E. FCAW *Preheat* $200^\circ\text{C}$

Pada gambar 4.3.11 adalah struktur mikro pada base metal, HAZ, dan weld metal dengan pengelasan FCAW dengan *preheat*  $200^\circ\text{C}$ . Dari ketiga foto mikro yang diambil semua strukturnya hanya terdiri dari *ferrite* yang berwarna terang dan *pearlite* yang berwarna gelap. *Pearlite* terdiri dari *ferrite* dan juga *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang menyebabkan berwarna gelap. *Cementite* mempunyai sifat getas karena pengaruh dari carbon (C).



Gambar 4.3.11 Foto mikro pengelasan FCAW *preheat*  $200^\circ\text{C}$  perbesaran 400x pada base metal (a), HAZ (b), weld metal (c)

Tabel 48 Penyebaran *cementite* dan ferrite pada FCAW *preheat* 200°C

HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	
115413	199515	94113	220815	107887	207041	314928

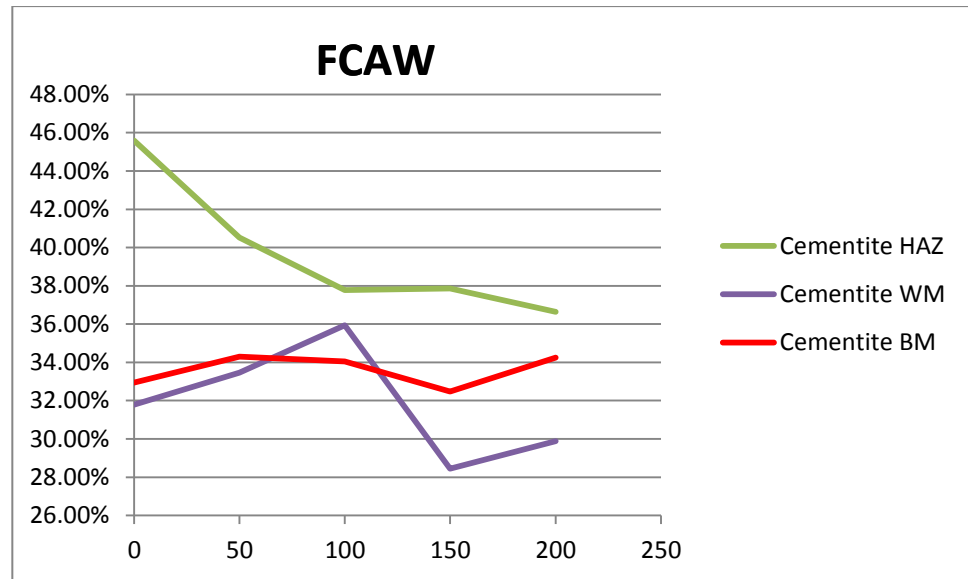
Pada tabel 48 dapat dilihat luasan dari *cementite* dan ferrite pada HAZ, weld metal dan juga base metal. Luas ferrite pada masing daerah pengelasan lebih tinggi daripada *cementite*. Butir pada weld metal lebih kecil daripada HAZ. Pada weld metal butirannya cenderung berupa *fine grain* (halus). Sedangkan pada HAZ butirannya berupa *fine grain* (halus). Pada daerah HAZ persebaran *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) berukuran besar seperti pada *preheat* 50°C tetapi ada sebagian *cementite* yang melebur dengan *cementite*. Sedangkan pada weld metal *cementite* tersebar halus pada butir *ferrite* membentuk *pearlite*.

Pada tabel 49 dapat dilihat hasil rekapitulasi penyebaran *cementite* dan ferrite pada setiap temperatur *preheat*. *Cementite* pada HAZ paling banyak terjadi pada pengelasan tanpa *preheat*. Sedangkan pada weld metal adalah pada saat pengelasan dengan *preheat* 100°C. Pada base metal penyebaran *cementite* relatif sama karena materialnya sama dan tidak mendapatkan perlakuan panas.

Tabel 49 Rekapitulasi penyebaran *cementite* dan ferrite pada FCAW

° <i>preheat</i>	HAZ		Weld Metal		Base Metal		total luas (pixel)
	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	<i>cementite</i>	ferrite	
0	45.59%	54.41%	31.79%	68.21%	32.94%	67.06%	100%
50	40.52%	59.48%	33.46%	66.54%	34.30%	65.70%	100%
100	37.78%	62.22%	35.93%	64.07%	34.05%	65.95%	100%
150	37.86%	62.14%	28.44%	71.56%	32.48%	67.52%	100%
200	36.65%	63.35%	29.88%	70.12%	34.26%	65.74%	100%

Pada Gambar 4.3.12 dapat dilihat grafik hasil rekapitulasi penyebaran *cementite* pada daerah HAZ, base metal, dan weld metal. Persebaran *cementite* pada HAZ tanpa *preheat* adalah yang tertinggi. Setelah itu terjadi penurunan pada *preheat* 50°C sampai 100 °C dan kemudian naik sedikit pada 150 °C lalu turun lagi. Sedangkan pada weld metal memiliki tren yang berkebalikan dengan HAZ. Penurunan *cementite* pada HAZ ini terjadi karena pendinginan yang tidak terlalu cepat sehingga membuat *cementite* berkurang. Hal ini berbeda dengan penyebaran HAZ pada pengelasan SMAW dimana penyebaran *cementite* lebih besar tetapi lebih tipis.



Gambar 4.3. 12 Grafik rekapitulasi penyebaran *cementite* FCAW

Dari kelima spesimen yang dilakukan foto mikro dapat ditarik kesimpulan bahwa *fine grain* pada HAZ terjadi pada semua spesimen yang dilakukan *preheat*. Hasil terbaik pada HAZ adalah pada saat *preheat* 200°C, *cementite* (36.65%) tersebar halus pada ferrite dan membentuk pearlite dan ukuran butir yang besar. Hal ini menyebabkan meningkatnya kekuatan mekanik. Hasil terbaik pada weld metal juga pada pengelasan dengan *preheat* 200°C. Pada saat tersebut *cementite* dengan presentase paling sedikit (29.88%) dan tersebar tipis pada butir *ferrite*.

#### 4.4 Pengaruh *Preheat* pada Pengelasan *Butt Joint*

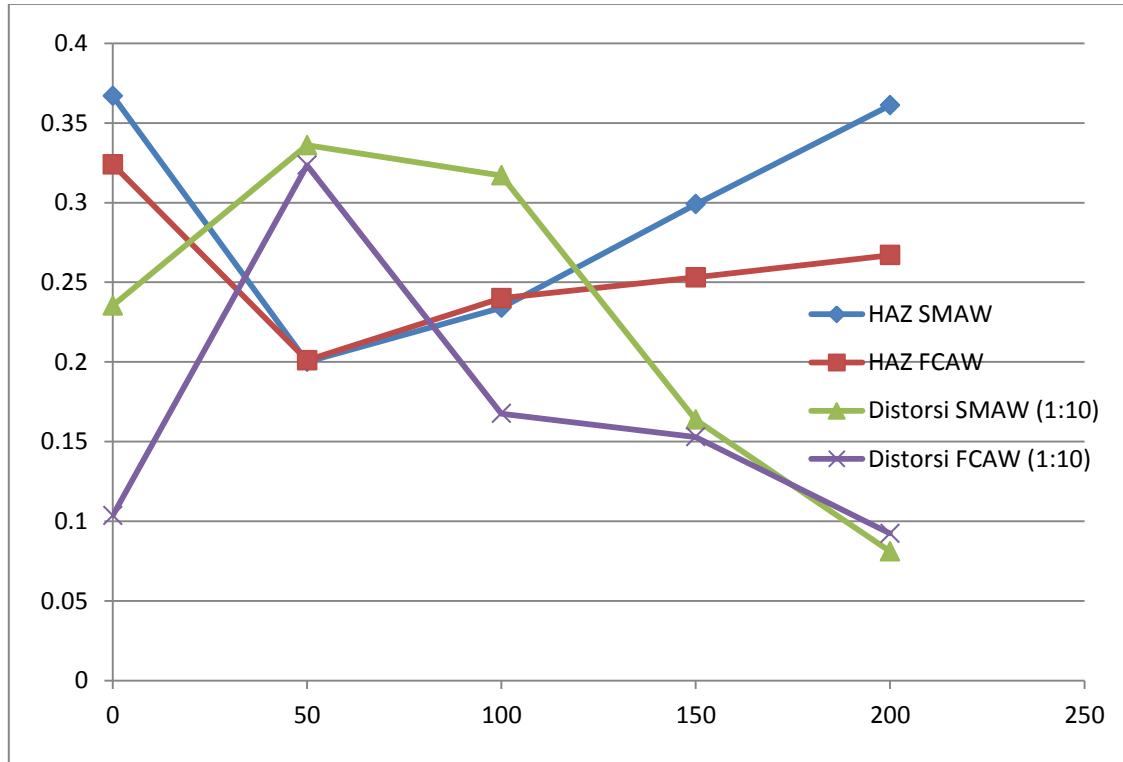
Dari hasil pengujian pengukuran distorsi, lebar HAZ, dan struktur mikro didapat hasil seperti pada tabel 50

Tabel 50 Rekapitulasi hasil ketiga parameter

Preheat (°C)	Distorsi (°)		Lebar HAZ (cm)		Struktur Mikro			
					Cementite (HAZ)		Cementite (WM)	
	SMAW	FCAW	SMAW	FCAW	SMAW	FCAW	SMAW	FCAW
0	2.354	1.035	0.367	0.324	43.49%	45.59%	32.72%	31.79%
50	3.36	3.235	0.2	0.201	35.46%	40.52%	32.23%	33.46%
100	3.17	1.675	0.234	0.24	37.80%	37.78%	36.60%	35.93%
150	1.637	1.529	0.299	0.253	39.91%	37.86%	39.79%	28.44%
200	0.81	0.923	0.361	0.267	36.91%	36.65%	32.04%	29.88%

Pada gambar 4.4.1 dapat dilihat grafik lebar HAZ dan distorsi (skala 1:10). Hal yang ingin dicapai dalam setiap pengelasan adalah HAZ yang kecil, distorsi yang kecil, dan memiliki struktur mikro yang bagus. Tetapi berdasarkan penelitian pada grafik lebar

HAZ dan distorsi memiliki tren yang berkebalikan dimana semakin besar temperature *preheat* maka distorsi yang terjadi akan semakin kecil sedangkan lebar HAZ akan bertambah. Sehingga harus dipilih berapa suhu optimal dimana terjadi distorsi kecil dan HAZ tidak terlalu lebar dan memiliki struktur mikro yang bagus.



Gambar 4.4. 1 Grafik lebar HAZ dan distorsi

Pada pengelasan tanpa *preheat* lebar HAZ sangat tinggi sebesar 0.367 cm pada SMAW dan 0.324 cm pada FCAW tetapi memiliki distorsi yang kecil pada FCAW sebesar 1.035°. Memiliki struktur mikro dengan penyebaran *cementite* paling tinggi dengan ukuran butir yang kecil pada HAZ sehingga kekuatan mekaniknya akan menurun.

Pada pengelasan dengan *preheat* 50°C memiliki distorsi yang paling tinggi akan tetapi HAZ yang terbentuk adalah yang paling kecil. Struktur mikro yang terbentuk pada HAZ memiliki penyebaran *cementite* 35.46% pada SMAW dan 40.52 % pada FCAW. Penyebaran *cementite* berkelompok secara memanjang.

Pada pengelasan SMAW dengan *preheat* 100°C memiliki distorsi tertinggi kedua dengan selisih 0.19° dengan HAZ yang lebih tinggi daripada pengelasan *preheat* 50°C. Struktur mikro yang terbentuk pada HAZ memiliki penyebaran *cementite* 37,80%. Penyebaran *cementite* sudah mulai terpecah.

Pada grafik HAZ FCAW dengan *preheat* 100°C memiliki nilai 0.24 cm sedangkan distorsi yang terjadi sebesar 1.559° dimana ini adalah penurunan terbesar (sama dengan SMAW). Perbedaan 100°C dan 150°C sangat kecil yaitu 0.146°. Sedangkan pada HAZ perbedaan *preheat* 50°C dan 100°C sebesar 0.066 cm dimana ini adalah titik pertama kenaikan yang paling tinggi dan perbedaan 100°C dan 150°C adalah 0,013°. Pada saat *preheat* 100°C struktur mikro pada HAZ memiliki penyebaran *cementite* 37.78% ada yang berkelompok ada juga yang tersebar halus.

Pada grafik HAZ SMAW dengan *preheat* 150°C memiliki nilai 0.299 cm sedangkan distorsi yang terjadi sebesar 1.637°. Perbedaan distorsi pada 100°C dan 150°C sebesar 1.533 ° dimana ini adalah penurunan yang terbesar. Sedangkan pada HAZ perbedaan *preheat* 100°C dan 150°C sebesar 0.066cm dimana ini adalah titik pertama kenaikan yang paling tinggi. Pada saat ini struktur mikro pada HAZ adalah yang terbaik dibanding pengelasan SMAW lainnya, Penyebaran *cementite* 39.91% tersebar halus pada ferrite (membentuk pearlite) dan pada batas butir ferrite. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan mekanik.

Pada pengelasan SMAW dengan *preheat* 200°C distorsi yang terjadi adalah yang terendah dengan nilai 0.81 ° tetapi memiliki lebar HAZ yang paling tinggi sebesar 0.361 cm, tertinggi kedua setelah lebar HAZ pada pengelasan SMAW tanpa *preheat*. Pada saat ini struktur mikro pada HAZ memiliki penyebaran *cementite* 36.91% yang tersebar pada batas butir ferrite dan strukturnya berupa coarse grain.

Pada pengelasan FCAW dengan *preheat* 200°C distorsi yang terjadi adalah yang terendah dengan nilai 0.923° dan memiliki lebar HAZ tertinggi diantara pengelasan FCAW dengan *preheat* lainnya sebesar 0.267 cm (masih dibawah SMAW *preheat* 150°C). Pada saat ini pula struktur mikro pada HAZ adalah yang terbaik dimana penyebaran *cementite* 36.65% ada yang tersebar halus dan berkelompok.

Dari ketiga parameter dapat ditarik kesimpulan hasil paling optimum untuk pengelasan SMAW *preheat* 150°C dengan besar distorsi 1.637°, Lebar HAZ 0.299 cm, penyebaran *cementite* pada HAZ 39.91 %. Sedangkan untuk pengelasan FCAW dengan melakukan *preheat* sebesar 200°C dengan besar distorsi 0.923%, lebar HAZ 0.267 cm, penyebaran *cementite* pada HAZ 36.65%.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari data hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Distorsi tertinggi terjadi pada SMAW dengan *preheat* 50 °C dan yang kedua adalah FCAW dengan *preheat* 50 °C. Penurunan distorsi yang paling curam adalah antara *preheat* 50°C dan 100 °C pada SMAW dengan besar penurunan 1.56°. Sedangkan penurunan distorsi pada SMAW terjadi antara *preheat* 100 °C dan 150 °C sebesar 1.53° . Pengelasan tanpa *preheat* distorsinya kecil dikarenakan efek *preheat* dari pengelasan pass sebelumnya.
2. SMAW tanpa *preheat* menghasilkan lebar dan luas HAZ yang paling besar diantara pengelasan lainnya dengan nilai 0.367 cm dan 0.678 cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada FCAW lebar dan luas paling besar terjadi pada pengelasan tanpa *preheat* dengan lebar 0.324 cm dan luas 0.589 cm<sup>2</sup>. Pengelasan tanpa *preheat* lebar HAZ besar dikarenakan efek *preheat* dari pengelasan layer sebelumnya.
3. Selisih terbesar adalah pada saat *preheat* 100°C dan 150°C untuk untuk pengelasan SMAW sebesar 0.066 cm untuk lebar dan 0.096 cm<sup>2</sup> untuk luas. Sedangkan untuk FCAW pada saat *preheat* 50°C dan 100°C sebesar 0.04 cm untuk lebar dan 0.055 untuk luas.
4. Hasil terbaik pada HAZ adalah pada saat *preheat* 150°C, *cementite* (39.91%) tersebar halus pada ferrite (membentuk pearlite) dan batas butir ferrite. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan mekanik. Sedangkan Hasil terbaik pada weld metal adalah pada pengelasan dengan *preheat* 200°C. Pada saat tersebut butir ferrite terlihat lebih besar dari *preheat* dibawahnya dan *cementite* (32.04%) tersebar pada batas butir *ferrite*.
5. Pada FCAW hasil terbaik pada HAZ adalah pada saat *preheat* 200°C, *cementite* (36.65%) tersebar halus pada ferrite dan membentuk pearlite dan ukuran butir yang besar. Hal ini menyebabkan meningkatnya kekuatan mekanik. Hasil terbaik pada weld metal juga pada pengelasan dengan *preheat* 200°C. pada saat tersebut



*cementite* dengan presentase paling sedikit (29.88%) dan tersebar tipis pada butir *ferrite*.

6. Pada FCAW penurunan *cementite* di daerah HAZ terjadi karena pendinginan yang tidak terlalu cepat. Hal ini berbeda dengan penyebaran HAZ pada pengelasan SMAW dimana penyebaran *cementite* lebih besar tetapi lebih tipis.
7. Hasil paling optimum untuk pengelasan SMAW *preheat* 150°C dengan besar distorsi 1.637°, Lebar HAZ 0.299 cm, persebaran *cementite* pada HAZ 39.91 %. Sedangkan untuk pengelasan FCAW dengan melakukan *preheat* sebesar 200°C dengan besar distorsi 0.923%, lebar HAZ 0.267 cm, persebaran *cementite* pada HAZ 36.65%.

## **5.2 Saran**

Sebagai pengembangan penelitian bisa dilakukan variasi terhadap tebal material untuk mengetahui hubungannya tebal material terhadap temperatur *preheat* dan menggunakan *preheat* dengan temperatur diatas 200°C.

**LAMPIRAN A**  
**FOTO PENGELASAN DAN PENGUJIAN SPESIMEN**



Termometer Tembak (Infrared)



Elektroda E-6013 (SMAW)



Elektroda K-71T (FCAW)



Tack Weld



Preheating Material



Pengelasan SMAW



Pengelasan FCAW



Pengukuran Suhu Material



Back Gouging



Material Setelah di Back Gouging



Pemotongan Material



Mesin Poles

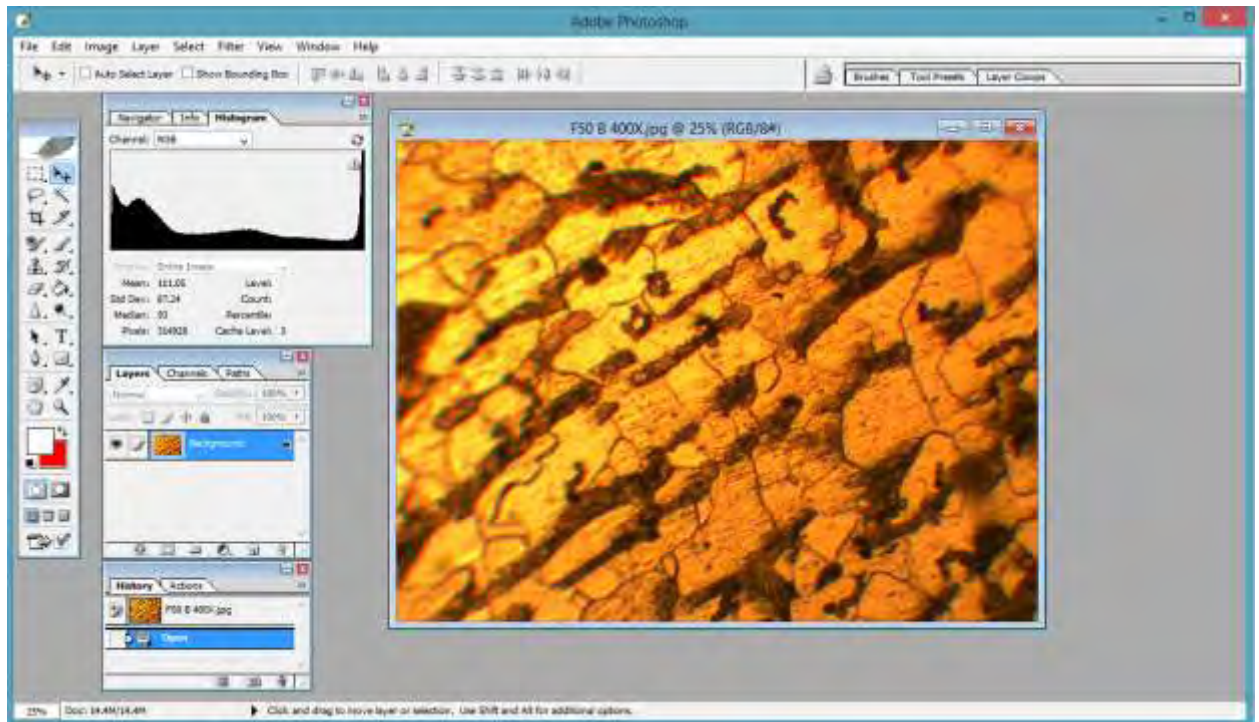


## LAMPIRAN B

### PENGUKURAN PENYEBARAN CEMENTITE MENGGUNAKAN PHOTOSHOP

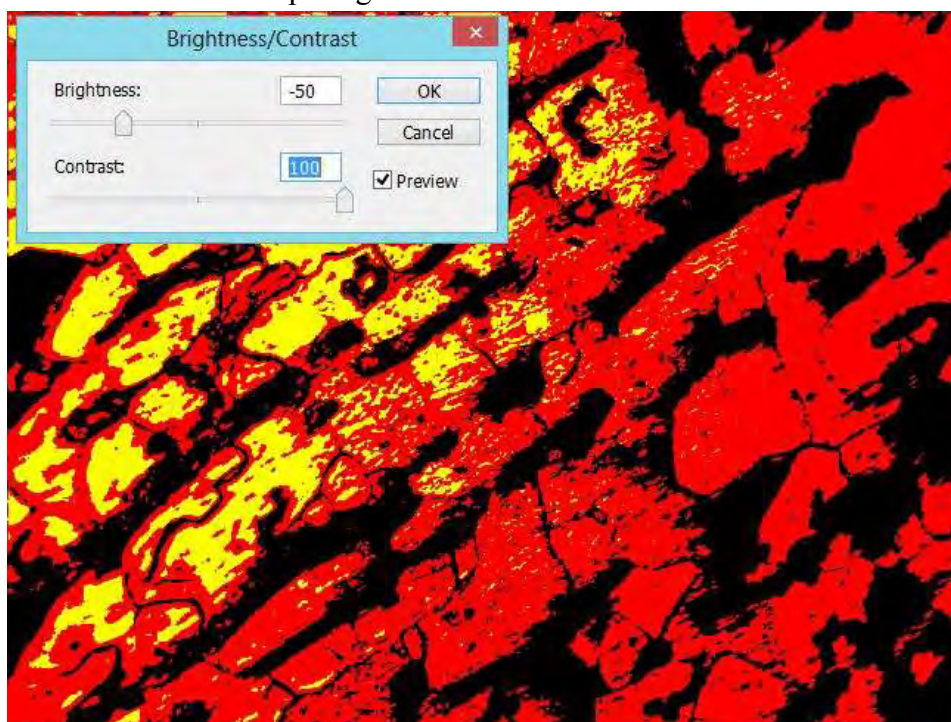
#### 1. Import gambar ke dalam photoshop

Pixel pada gambar dibawah ini adalah luasan total dari gambar.



#### 2. Atur kontras warna

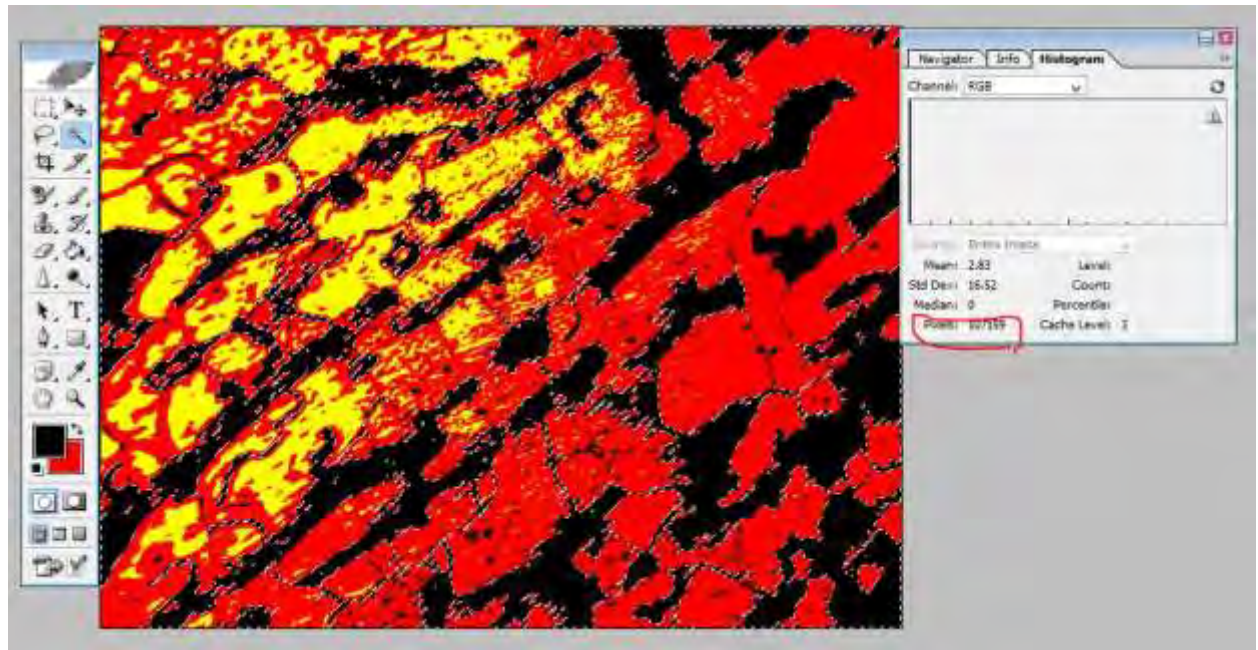
Atur kontras warna seperti gambar dibawah ini.





### 3. Gunakan Magic Wand Tool untuk block area yang berwarna hitam

Pada pixel yang dilingkari warna merah adalah luasan dari gambar yang diblok menggunakan magic wand tool.



## DAFTAR PUSTAKA

- Putra Akbar, W.H. (2011). Lecture Handout. Teknik Las . Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- AWS, AWS D1.1: 2010. *Structural Welding Code - Steel*, American Welding Society, Miami, 2002.
- Hinton W.R., and Wiswesser K.R. (2008). *Estimating Welding Preheat Requirements for Unknown Grades of Carbon and Low-Alloy steel*. Journal of American Welding Society and Welding Research Council.
- ASTM, ASTM A36 : *Standart Specification of Carbon Structural steel*, American Society for Testing and Material,. Washington, 1997.
- N. Yurioka, H. Suzuki, S. Ohshita and S. Saito. Welding Research: *Determination of Necessary Preheating Temperature in Steel Welding*, 1983.
- Von Buseh, M, Germanischer Lloyd (2010). *Preheating in Welding Technology : A Hot Topic-Determination of the Right Temperature*.
- Scott Funderburk, R. (2010). *Taking Your Weld's Temperature*. North American Steel Construction Conference. Las Vegas.
- C.M.Cheng, C.P.Chouy, I.K.Lee dan H.Y.Lin, *Distortion Analysis of Single V-groove Butt Welding on Heat Treatable Aluminum Alloys*, China : National Chiao Tung University.
- Rananggono, D, TA, Studi Kekuatan Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan SMAW Dengan Variasi *Preheat* dan *Postheat* Menggunakan Metode Pendinginan Cepat dan Pendinginan Lambat, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- N. Sathyanarayana Reddy dan N. Lakshmana Swamy, *Influence of Groove Angle in V-Groove Butt Joints on Transverse Shrinkage in CO<sub>2</sub> Arc Welding Process*, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).
- Prof. S.R.Satish Kumar and Prof. A.R.Santha Kumar, *Design of Steel Structures* , India : Indian Institute of Technology Madras.
- Laboratory for scientific Visual Analysis, *Iron-cementite equilibrium diagram*.  
<URL : [www.sv.vt.edu](http://www.sv.vt.edu)

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung pada 30 Mei 1992 sebagai anak ke 3 dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kampungdalem IV Tulungagung, SMP Negeri 1 Tulungagung, SMA Negeri 1 Kedungwaru Tulungagung. Setelah lulus SMA pada tahun 2010 penulis diterima di jurusan teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 4110100079. Selama menjalani pendidikan di ITS penulis aktif di kegiatan UKM Badminton dan sempat menjadi juara 2 kategori ganda putra dalam kompetisi yang diadakan IBC (ITS Badminton Club) pada tahun 2011. Selain itu penulis juga aktif mengikuti seminar nasional ataupun internasional dan pelatihan – pelatihan yang diadakan kampus ITS. Penulis menamatkan pendidikan studi di jurusan teknik perkapalan FTK ITS dengan mengambil tugas akhir pada bidang keahlian rekayasa perkapalan – konstruksi kapal. Penulis menerima pertanyaan, kritik, saran, dan diskusi melalui e-mail dengan alamat [windubaskorohadi@gmail.com](mailto:windubaskorohadi@gmail.com).